

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Dernière mise à jour : 21/02/2008

## RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : [jean-marc.brignon@ineris.fr](mailto:jean-marc.brignon@ineris.fr)

## EXPERT AYANT PARTICIPÉ A LA REDACTION

A. GOUZY : [aurelien.gouzy@ineris.fr](mailto:aurelien.gouzy@ineris.fr)

*Veillez citer ce document de la manière suivante :*

*INERIS, 2008. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Arsenic et composés inorganiques : Panorama des principaux émetteurs, 61 p. (<http://rsde.ineris.fr/>)*

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## SOMMAIRE

<b>1. GENERALITES.....</b>	<b>4</b>
1.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES .....	4
1.2 SOURCES MINERALES D'ARSENIC .....	6
<b>2. PRODUCTION ET UTILISATION.....</b>	<b>6</b>
2.1 PRINCIPES DE PRODUCTION.....	6
2.2 SECTEURS D'UTILISATION .....	7
<b>3. ETAT DES LIEUX DES PRINCIPAUX EMETTEURS.....</b>	<b>9</b>
3.1 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES TOTALES .....	10
3.2 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES NON-ANTHROPIQUES.....	12
3.3 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES INDUSTRIELLES .....	13
3.4 EMISSIONS ATMOSPHERIQUES PAR COMBUSTION DE BOIS TRAITE .....	20
3.5 EMISSIONS VERS LES EAUX .....	21
3.6 EMISSIONS TOTALES VERS LES SOLS .....	30
3.7 EMISSIONS INDUSTRIELLES VERS LES SOLS.....	30
3.8 EMISSIONS AGRICOLES VERS LES SOLS .....	31
<b>4. REGLEMENTATION.....</b>	<b>31</b>
4.1 VALEURS UTILISEES EN MILIEU DE TRAVAIL - FRANCE .....	31
4.2 VALEURS UTILISEES POUR LA POPULATION GENERALE .....	32
4.3 AUTRES TEXTES.....	32
<b>5. TOXICITE .....</b>	<b>35</b>
5.1 TOXICITE DE LA SUBSTANCE .....	35
5.2 CLASSIFICATION ET ETIQUETAGE.....	36
<b>6. PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT.....</b>	<b>38</b>
6.1 CONCENTRATIONS UBIQUITAIRES .....	38
6.2 EXEMPLES D'AQUIFERES FRANÇAIS CONTAMINES PAR L'ARSENIC .....	39
6.3 CHARGE CRITIQUE .....	40

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

<b>7. PERSPECTIVES DE REDUCTION A LA SOURCE .....</b>	<b>43</b>
7.1 REDUCTION DES EMISSIONS INDUSTRIELLES ATMOSPHERIQUES .....	43
7.2 REDUCTION DES EMISSIONS INDUSTRIELLES VERS L'EAU .....	47
7.3 REDUCTION DES EMISSIONS INDUSTRIELLES VERS LES SOLS.....	50
7.4 REDUCTION DANS LES DECHETS .....	51
<b>8. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>52</b>
<b>9. ANNEXE 1 : DEROGATIONS A LA DIRECTIVE N° 2006/139/CE DE LA COMMISSION DU 20 DECEMBRE 2006 MODIFIANT LA DIRECTIVE 76/769/CEE DU CONSEIL, EN CE QUI CONCERNE LA LIMITATION DE LA MISE SUR LE MARCHE ET DE EMPLOI DES COMPOSES DE L'ARSENIC, EN VUE D'ADAPTER SON ANNEXE I AU PROGRES TECHNIQUE (JOUE N° L384 DU 29 DECEMBRE 2006).....</b>	<b>56</b>
<b>10. ANNEXE 2 : SELECTION DES TECHNIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS D'EFFLUENTS GAZEUX UTILISEES EN FONCTION DU POLLUANT A ELIMINER DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL DE L'INDUSTRIE CHIMIE INORGANIQUE, ENGRAIS, ACIDES .....</b>	<b>58</b>
<b>11. ANNEXE 3 : TECHNIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS INDUSTRIELLES ATMOSPHERIQUES DE POUSSIERES .....</b>	<b>60</b>

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 1. GENERALITES.

### 1.1 Caractéristiques chimiques

L'arsenic (As) est un élément chimique métalloïde<sup>1</sup>. Cet élément se présente généralement sous forme de cristaux gris, brillants, d'aspect métallique et existe sous deux autres formes allotropiques : l'arsenic jaune et l'arsenic noir (INRS, 2006).

Les principales caractéristiques physiques de l'arsenic (élément) sont les suivantes :

- masse molaire 74,92 g.mol<sup>-1</sup> ;
- point de fusion 817°C sous 3 600 kPa ;
- sublimation 615°C
- densité 5,73
- insoluble dans l'eau.

La connaissance de la spéciation de l'arsenic permettrait de mieux mesurer l'impact et le risque environnemental de cet élément. En effet, selon « l'espèce » considérée la biodisponibilité, la toxicologie et la mobilité l'arsenic sont différentes<sup>2</sup>.

Il existe de nombreuses espèces arséniées mais le suivi réglementaire des rejets d'arsenic dans l'environnement n'inclut pas d'obligations quant aux mesures des espèces rejetées. Ainsi, extrêmement peu de données sont disponibles sur le sujet. Dans la suite de ce document nous résonnerons donc en termes de concentration totale d'arsenic.

Les principales caractéristiques de l'arsenic et de ses principaux composés minéraux sont présentées dans le tableau 1.1 ci-après.

<sup>1</sup> Un métalloïde est un élément chimique semi-métallique, c'est-à-dire dont les propriétés physiques et chimiques sont intermédiaires entre celles d'un métal et d'un non-métal.

<sup>2</sup> L'étude de la spéciation de l'arsenic a montré que ses formes naturelles sont très diverses et la toxicologie en a évalué les toxicités individuelles : si les formes inorganiques (arsénite, arséniate) sont considérées comme dangereuses pour l'homme, les dérivés organoarséniés semblent, quant à eux, peu toxiques.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 1.1. Caractéristiques des composés de la famille de l'arsenic  
(données d'après INRS, 2006 ; INERIS, 2006).

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Principaux usages	Solubilité dans l'eau
<b>Arsenic</b> (As)	7440-38-2	231-148-6	-		Substance insoluble
<b>Trioxyde d'arsenic</b> (As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1327-53-3	215-481-4	Oxyde d'arsenic (III) Trioxyde de diarsenic Oxyde arsénieux Anhydride arsénieux	Synthèse de pesticides, de produits pharmaceutiques ou vétérinaires  Agents de décoloration et d'affinage du verre et des émaux, de traitement du bois	Soluble
<b>Pentaoxyde de diarsenic</b> (As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1303-28-2	215-116-9	anhydride arsénique, pentaoxyde de diarsenic		Substance très soluble
<b>Arséniate de calcium</b> (Ca <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )	7778-44-1	-			Peu soluble
<b>Arsénite de cuivre</b> (CuHAsO <sub>3</sub> )	10290-12-7	-			Insoluble
<b>Arsénite de sodium</b> (NaAsO <sub>2</sub> )	7784-46-5	-	disodium arsenate		Très soluble
<b>Trichlorure d'arsenic</b> (AsCl <sub>3</sub> )	7784-33-0	-			Décomposé par l'eau pour former du trioxyde de diarsenic et du chlorure d'hydrogène
<b>Arséniate de plomb</b> (AsO <sub>4</sub> PbH)	7784-40-9	232-064-2	Acid lead arsenate		-
<b>Trihydrure d'arsenic</b> (AsH <sub>3</sub> )	7784-42-1	232-066-3	Arsine, Hydrogène arsénié	Dopage des semi-conducteurs Synthèse organique <sup>4</sup>	Gaz soluble dans l'eau à hauteur de 200mL.L <sup>-1</sup>
...					

<sup>3</sup> Selon l'INRS (2006b).

<sup>4</sup> Selon INRS (2000).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Selon l'INRS (2006) et l'INERIS (2006), les composés minéraux de l'arsenic les plus couramment utilisés dans l'industrie sont le pentoxyde de diarsenic, l'arséniate de calcium, l'arsénite de cuivre, l'arsénite de sodium, le trichlorure d'arsenic, l'arséniate de plomb, le trioxyde d'arsenic ...

## 1.2 Sources minérales d'arsenic

Selon l'International Programme on Chemical Safety (IPCS, 2001), l'arsenic est naturellement présent dans la croûte terrestre (à une concentration moyenne de  $2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Cet élément et ses composés sont donc présents à l'état de traces dans de nombreux sols et roches (verres volcaniques, minéraux silicatés, roches ignées ou sédimentaires) ou bien dans certaines eaux et même dans le compartiment atmosphérique.

Selon le BRGM (2006b), en solution, l'arsenic se présente essentiellement sous forme inorganique : arséniate ( $\text{As}^{\text{V}}$ ) et arsénite ( $\text{As}^{\text{III}}$ ). La forme trivalente domine en milieu réducteur et peut co-précipiter avec du soufre pour former des sulfures

Selon cette même source, en milieu oxydant, la forme pentavalente prédomine et tend à être adsorbée ou à co-précipiter avec des hydroxydes de fer. Les conditions d'oxydo-réduction sont donc essentielles dans le contrôle de la mobilité de l'arsenic. Il existe aussi des facteurs organiques de contrôle de la concentration en arsenic comme des processus de méthylation.

## 2. PRODUCTION ET UTILISATION

### 2.1 Principes de production

Ces quelques notions sur les principes de production de l'arsenic et de son principal composé (trioxyde d'arsenic) sont issues d'un document INERIS datant de 2006 : fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.

L'élément arsenic est produit par l'une ou l'autre des méthodes suivantes (HSDB, 2000) :

- pyrolyse de  $\text{Fe S As}$  (arsénopyrite) ;
- grillage de sulfure puis réduction de l'oxyde formé avec du carbone.

Il peut également être obtenu par réduction du trioxyde d'arsenic par le carbone (ATSDR, 1993).

Le trioxyde d'arsenic ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) est le composé d'arsenic le plus important commercialement. Lors de la fusion du plomb ou du cuivre, l'arsenic combiné avec ces

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

métaux s'évapore et s'oxyde dans l'air en donnant naissance à des particules de trioxyde d'arsenic. Celles-ci sont recueillies et purifiées par grillage en présence de pyrite ou de galène (ATSDR, 1993).

Pour les autres composés, les principes de productions peuvent être, par exemple, obtenus en consultant le site internet toxnet (rubrique HSDB : Hazardous Substances Data Bank).

En 1980, la production mondiale d'arsenic était de l'ordre de 75 000 à 100 000 tonnes (Proust *et al.*, 2000).

## 2.2 Secteurs d'utilisation

Ces quelques notions sur les secteurs d'utilisation de l'arsenic et de ses composés sont issues du document INERIS (2006).

L'arsenic et ses composés minéraux ont de très nombreuses applications industrielles ou agricoles (Molénat *et al.*, 2000) :

- complexe « chromate copper arsenate » (CCA) utilisé pour le traitement du bois ;
- alliage plomb-antimoine-arsenic utilisé dans les batteries électriques (l'arsenic améliore la résistance à la corrosion électrique) ;
- semi-conducteurs (arséniure de gallium AsGa) ;
- divers équipements électriques et électroniques<sup>5</sup> (toner, DEL, éléments de cellules photovoltaïques, cartes électroniques, ...) ;
- agent décolorant dans l'industrie du verre<sup>6</sup> ;
- pigments de peinture en association avec le cuivre:  $\text{CuAsO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ;
- fabrication de plombs de chasse, en association avec le plomb dont il augmente la dureté ;
- alliages avec le cuivre, le plomb, l'or, pour augmenter leur dureté.

---

<sup>5</sup> De tels équipements sont soumis à une obligation de recyclage depuis la mise en application des directives 2002/95/CE et 2002/96/CE. Ces directives limitent l'utilisation de certaines substances dans ce type d'équipements et imposent des objectifs précis en matière de valorisation et d'élimination lorsqu'ils sont mis au rebut. L'arsenic n'étant qu'indirectement visé par ces directives, celles-ci n'apparaîtront pas dans la partie réglementation (§4).

<sup>6</sup> Selon Eisler (1994), l'arsenic est employé dans l'industrie du verre comme agent décolorant à hauteur de 0,2 à 1%.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

De façon plus détaillée (composé par composé), différentes sources bibliographiques mettent en avant des applications spécifiques. Néanmoins, celles-ci (ci-après détaillées) ne s'appliquent pas forcément à la France :

- l'arséniate de plomb est utilisé comme pesticide (Ullmann, 1985) ;
- l'arséniate de sodium sert à produire d'autres arséniates tels que les arséniates de calcium et les arséniates de plomb (Ullmann, 1985) ;
- le trioxyde d'arsenic est un produit de base pour la fabrication de nombreux composés d'arsenic. Il est également utilisé comme intermédiaire chimique pour la fabrication d'herbicides, de raticides, de fongicides et d'insecticides<sup>7</sup> (HSDB, 2000) ;
- le trioxyde d'arsenic est utilisé pour la production d'arsenic élémentaire (HSDB, 2000) ;
- le trioxyde d'arsenic est utilisé en tannerie pour la conservation des peaux (HSDB, 2000) ;
- le pentoxyde d'arsenic sert d'intermédiaire chimique pour la fabrication d'arséniates (HSDB, 2000) ;
- le pentoxyde d'arsenic est utilisé pour la fabrication d'herbicides (HSDB, 2000).
- ...

**En l'absence de chiffre concernant ces différentes applications, il nous a été impossible de les organiser selon des critères d'importance.**

Pour plus de détails ; les principaux secteurs d'utilisation de l'arsenic et de ses composés peuvent être, par exemple, obtenus en consultant le site internet toxnet (rubrique HSDB : Hazardous Substances Data Bank)<sup>8</sup>.

D'autre part, le site internet VIDAL (site d'information sur les produits de santé : [www.vidal.fr](http://www.vidal.fr)) indique deux usages thérapeutiques pour des composés à base d'arsenic :

- produit dentaire dévitalisant avec anhydride arsénieux ;
- produit antinéoplasique<sup>9</sup> à perfuser avec anhydride arsénieux<sup>10</sup>.

<sup>7</sup> Cette dernière application semble avoir diminué au profit des pesticides organochlorés et organophosphatés (HSDB, 2000).

<sup>8</sup> Précisons que, selon le site internet IREP, l'arsenic est également un sous-produit de l'exploitation de certains minerais de métaux (pyrites de fer, minerais sulfureux de cuivre, argent, or, plomb, ...).

<sup>9</sup> Médicament utilisé pour détruire les cellules cancéreuses ou empêcher leur prolifération.

<sup>10</sup> Usage réservé aux hôpitaux.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Néanmoins, on estime que les quantités d'arsenic concernées par un usage thérapeutique sont anecdotiques en comparaison des principaux secteurs d'utilisation précédemment listés.

Dans la suite de cette fiche, nous focaliserons notre propos sur les principaux émetteurs et/ou utilisateurs d'arsenic.

## 3. ETAT DES LIEUX DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Ces quelques notions sur les principaux émetteurs d'arsenic dans l'environnement sont issues du document INERIS (2006).

L'arsenic est présent dans la nature, en particulier dans les roches qui renferment plus de 99% de l'arsenic présent dans la croûte terrestre sous forme de minerais : principalement FeSAs (arsénopyrite ou mispickel), secondairement les sulfures  $As_4S_4$  (réalgar) et  $As_4S_6$  (orpiment).

Dans la partie superficielle de l'écorce terrestre, la concentration moyenne en arsenic est évaluée à  $2 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Localement, la concentration naturelle peut atteindre  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  voire  $200 \text{ mg.kg}^{-1}$  dans des dépôts calcaires ou phosphatés ou dans des schistes.

L'érosion des roches, le lessivage des sols, les réactions d'oxydo-réduction et les précipitations entraînent une redistribution de l'arsenic vers les compartiments aquatiques et atmosphériques.

D'autres sources naturelles d'émission d'arsenic dans l'atmosphère sont l'activité volcanique et les feux de forêts.

La majeure partie de l'arsenic anthropique atmosphérique provient des fumées émanant des industries de production d' $As_2O_3$ <sup>11</sup> et de la combustion de produits fossiles (charbons, pétroles, huiles) qui contiennent un pourcentage important d'arsenic.

<sup>11</sup> Selon Molénat *et al.* (2000), la production d'arsenic se fait à 97% sous forme d' $As_2O_3$ .

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 3.1 Emissions atmosphériques totales

Le CITEPA (2007b ; 2008) dresse le bilan<sup>12</sup> suivant quant aux principaux émetteurs français (métropole) d'arsenic dans l'air (période d'étude 1990-2006) :

- Emissions en 2006 : 10,5 t
- Emissions en 2005 : 10,4 t
- Maximum observé : 17,5 t en 1991
- Minimum observé : 10,4 t en 2005
- Evolution 2005 / 1990 : - 37 %

Il est notable que la valeur la plus récente disponible (2005) corresponde au minimum des émissions d'arsenic dans l'air.

Sous-secteurs prépondérants en 2005 (cinq premiers des émissions totales) :

1. Minéraux non métalliques, matériaux de construction 32 % ;  
dont :
  - verre 31 % ;
  - ciment 1,0 % ;
2. Résidentiel 20 % ;
3. Métallurgie des métaux ferreux 13 % ;
4. Métallurgie des métaux non ferreux 9,4 % ;
5. Production d'électricité 9,0 %.

Selon cette même source, les émissions de ce polluant dans l'atmosphère proviennent :

- d'une part, de la présence de traces de ce métal dans les combustibles minéraux solides ainsi que dans le fioul lourd
- d'autre part, de la présence de ce composé dans certaines matières premières comme par exemple dans certaines installations de production de verre, de métaux ferreux ou non ferreux.

---

<sup>12</sup> Selon le CITEPA (2007b), les émissions sont déterminées au moyen du système national des inventaires d'émissions de polluants dans l'atmosphère (SNIEPA).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Les principaux secteurs émetteurs sont synthétisés dans le tableau 3.1 ci-dessous.

Tableau 3.1. Principaux secteurs émetteurs d'arsenic dans l'atmosphère en France, en 2005 (d'après CITEPA, 2007)<sup>13,14</sup>.

Secteur	Part des émissions
Industrie manufacturière	64 %
Résidentiel/tertiaire	21 %
Transformation d'énergie	15 %
Agriculture/sylviculture	< 1 %
Transport routier	
Transports à l'exclusion du transport routier	
Autres sources	

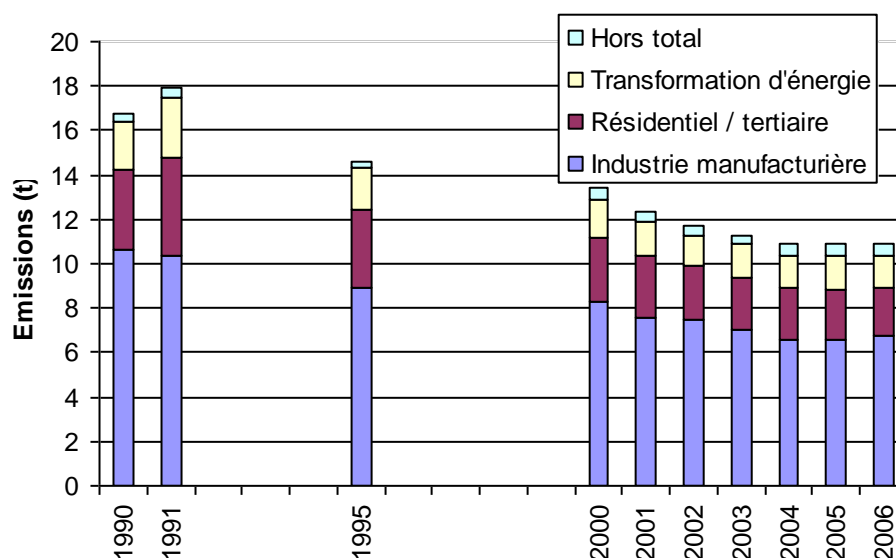
Les données annuelles (de 1990 à 2005) pour chacun de ces secteurs sont disponibles sur le document CITEPA (2007). Le graphique 3.1 ci-dessous synthétise les principaux résultats quantitatifs.

<sup>13</sup> Les émissions maritimes et aériennes internationales, ainsi que les émissions des sources biotiques, des forêts et les émissions des sources non-anthropiques ne sont pas répertoriées dans ce tableau.

<sup>14</sup> Le découpage des secteurs émetteurs est différent entre le CITEPA et la base de données IREP. La comparaison des données n'est donc pas directement possible.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.1. Evolution des quantités d'arsenic émises dans l'atmosphère (en tonne ; d'après CITEPA, 2007)<sup>15</sup>.



Il convient de noter que les bilans du CITEPA sont établis, pour la plupart des secteurs industriels, par le biais de facteurs d'émission estimés à partir d'hypothèses non communiquées.

## 3.2 Emissions atmosphériques non-anthropiques

Selon le programme IPCS (2001) environ un tiers des émissions atmosphériques mondiales d'arsenic est d'origine naturelle. Néanmoins, cette source précise également que c'est essentiellement au volcanisme et à la volatilisation à basse température que ces émissions sont attribuables. La France métropolitaine prise dans sa globalité ne se caractérisant ni par la présence d'un volcanisme dynamique, ni par une forte représentation de minéraux arséniés à la surface du sol, la source non-anthropique devrait se révéler de faible importance.

Cette conclusion est confortée par les estimations du CITEPA qui affiche, pour l'année 2006, une participation des sources « hors total », (catégorie regroupant les émissions maritimes et aériennes internationales, ainsi que les émissions des sources biotiques, des forêts et les émissions des sources non-anthropique) équivalentes à moins de 5% du total des autres émissions anthropiques

<sup>15</sup> Les valeurs considérées pour l'année 2006 correspondent à des estimations.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 3.3 Emissions atmosphériques industrielles

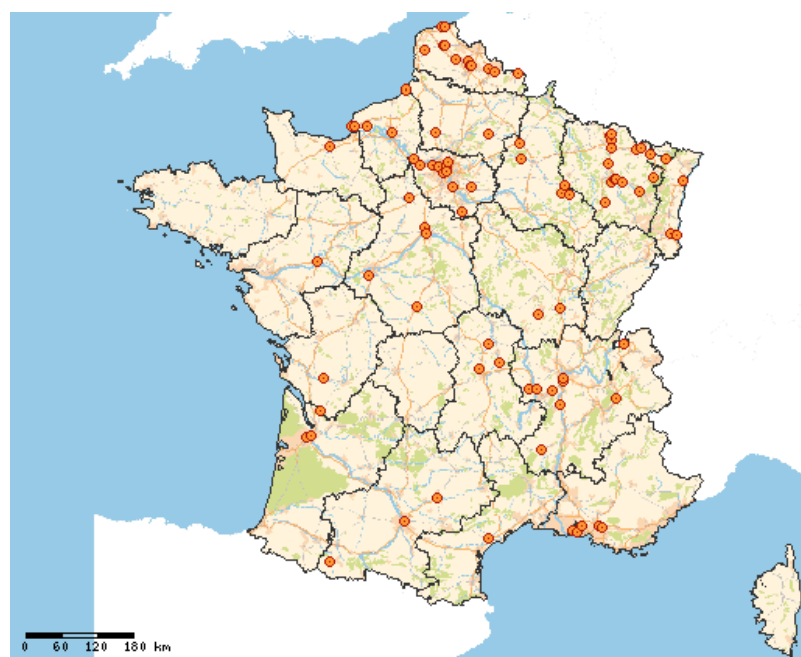
Selon L'INRS (2000), de très nombreuses opérations industrielles sont susceptibles de dégager du trihydrure d'arsenic. Les principales circonstances de dégagement accidentel se rencontrent dans la métallurgie : traitement de minerais arsenicaux ou de minerais ayant de l'arsenic comme impureté, décapage à l'acide de zinc, cuivre, étain ou plomb, fonderies de métaux ferreux, fonderies d'étain et de zinc.

Le paragraphe suivant présente les enseignements de l'étude des déclarations des installations industrielles classées soumises à autorisation préfectorales (données BDREP, correspondantes aux années 2003 à 2006, extraites le 10/01/2008). Bien que ces données ne soient pas exhaustives pour diverses raisons (elles ne concernent notamment pas les installations non classées ; en cas d'usage d'arsenic, il existe un seuil d'émission en deçà duquel la déclaration n'est pas nécessaire ; ...), les informations ci-dessous compilées sont intéressantes pour dresser un état des lieux le plus proche de la réalité possible.

La carte ci-dessous (Figure 3.2) extraite du site internet IREP (site internet exploitant les données issues de la base BDREP) permet de localiser les différents sites émetteurs d'arsenic dans l'air en France.

## ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.2. Localisation des différents sites émetteurs d'arsenic dans l'air en France (extrait du site internet IREP en date du 04/et correspondant aux données de 2005). /



Ce document présente bien l'inhomogénéité des installations rejetant de l'arsenic dans l'atmosphère à l'échelle de la France métropolitaine. On note par exemple la sur-représentation du quart nord-est de la France et la sous-représentation du quart nord-ouest.

Quoiqu'il en soit, une information plus importante sur les entreprises concernées est disponible sur le site internet IREP et permettrait d'approfondir les connaissances sur l'activité et les rejets de ces entreprises.

Dans le tableau 3.2 ci-dessous figurent les émissions d'arsenic dans l'air pour les industries soumises à déclaration. L'obligation de déclaration par les exploitants des installations industrielles et des élevages est fixée (polluants concernés et seuils de déclaration) par l'arrêté du 24 décembre 2002 relatif à la déclaration annuelle des émissions polluantes des installations classées soumises à autorisation (JO du 07 mars 2003).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.2. Emissions atmosphériques d'arsenic des installations soumises à déclarations de 2003 à 2006 (données BDREP)<sup>16</sup>.

Année	Emissions As (t.an <sup>-1</sup> )
2003	4,7
2004	6,0
2005	5,7
2006	6,8

La comparaison de ces chiffres d'émissions des installations classées à ceux du CITEPA concernant la totalité des émissions atmosphériques françaises montre que, pour l'année 2006, plus de 65 % de la totalité des rejets atmosphériques d'arsenic sont originaires des installations classées.

On peut également interpréter plus en détails ce tableau 3.2. Sur la période 2004-2006<sup>17</sup>, une augmentation des rejets d'arsenic dans l'air est à souligner (+12%). Ces émissions représentent 6,8 t. en 2006. Nous n'avons pas pu mettre en évidence la raison de cette augmentation lors de la présente synthèse.

Les industries qui rejettent de l'arsenic dans l'air sont les industries minérales, la chimie - parachimie - pétrole, la sidérurgie - métallurgie - coke, les déchets et leur traitement, l'énergie, la mécanique et le traitement des surfaces, l'industrie du bois, l'industrie extractive, l'industrie agroalimentaire et celle des cuirs et peaux.

Les rejets sont, principalement, le fait de cinq grands secteurs industriels<sup>18</sup> (qui représentent, en 2006, 99,4 % des émissions atmosphériques) :

- industries minérales (40,6 % en 2006) ;
- chimie - parachimie-pétrole (31,8 % en 2006) ;
- sidérurgie - métallurgie-coke (14,8 % en 2006) ;
- déchets - traitement (7,6 % en 2006) ;
- énergie (4,6 % en 2006).

<sup>16</sup> Les données pour 2003 sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement..

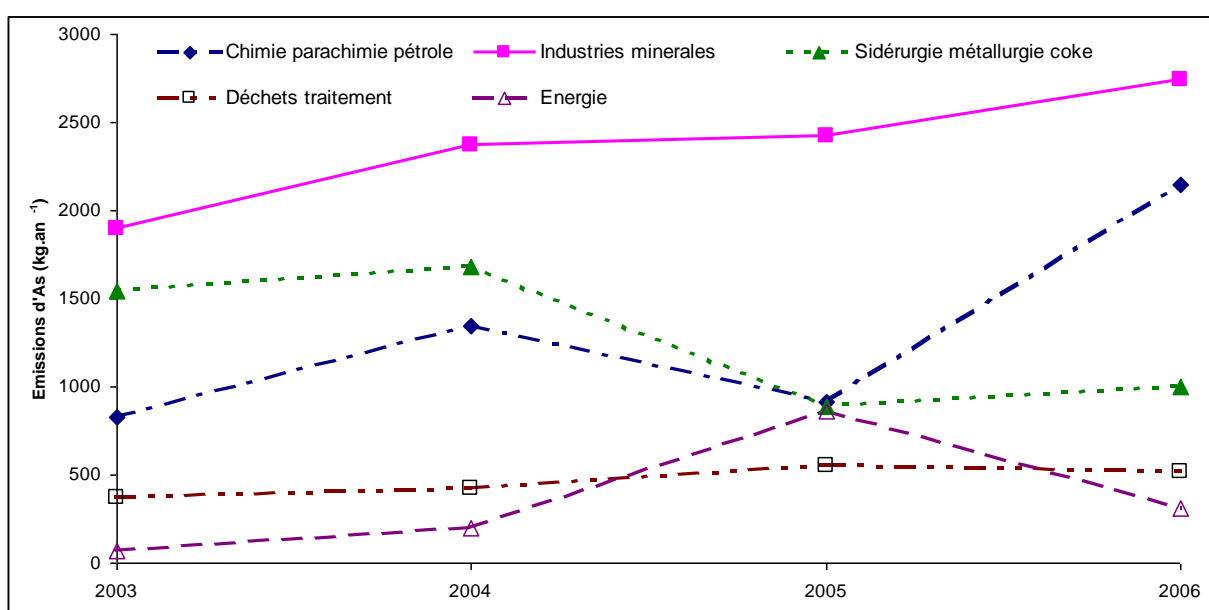
<sup>17</sup> On ne retient pas l'année 2003 car les données associées à cette année sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement.

<sup>18</sup> Le découpage des secteurs émetteurs est différent entre le CITEPA et la base de données de l'IREP. La comparaison des données n'est donc pas directement possible.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Le graphique ci-après (Figure 3.3) montre l'évolution des émissions atmosphériques d'arsenic pour ces cinq secteurs.

Figure 3.3. Evolution des émissions atmosphérique d'arsenic pour les cinq principaux secteurs émetteurs (données BDREP).



Les rejets pour l'industrie minérale et pour celle des déchets et de leur traitement sont relativement stables sur la période 2004-2006.

En ce qui concerne le secteur de la sidérurgie et de la métallurgie, il apparaît que les émissions ont été réduites d'un tiers entre 2004 et 2006.

A contrario, celles du secteur de la chimie-parachimie-pétrole ont augmenté de 30 à 50% pour cette même période.

Le tableau 3.3 donne la part de chaque secteur dans les émissions totales d'arsenic en 2006 ainsi que la répartition des rejets à l'intérieur de chaque secteur. On retrouve également la valeur minimale et maximale des rejets pour l'année 2006 ainsi que la valeur médiane qui permet de savoir si la distribution des émissions est homogène pour chaque type d'industrie ou si un site concentre la majorité des rejets. Enfin, le nombre de sites émetteurs pour 2005 et 2006 est également présenté dans ce tableau.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.3. Panorama des émissions atmosphériques d'arsenic des installations soumises à déclarations en 2006 (données BDREP)<sup>19</sup>.

		% émissions du secteur	Masses émises (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Mediane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs	
			Min	Max			2005	2006
<b>Industries minérales (40,6 %)</b>	Industrie du verre	98.03	0.223	561.2	89.6	30.55	28	30
	Fabrication de chaux, ciment, plâtre	1.55	0.018	6.58	1.57	1	28	27
	Fabrication d'autres matériaux de construction	0.35	4	5.5	4.75	4.75	3	2
	Céramique, verre, matériaux de construction	0.04	0.001	0.73	0.33	0.249	1	3
	Chantiers, construction, bitumes, enrobés	0.00	0.13				1	1
<b>Chime parachimie pétrole (31,8 %)</b>	Chimie, phytosanitaire, pharmacie	45.69	0.045	862	140	2.6	7	7
	Pétrochimie carbochimie organique	22.17	0.389	237	68	15.2	6	7
	Raffinage de pétrole, carburants et lubrifiants	20.25	7.9	141	54.4	37	7	8
	Caoutchouc et matières plastiques	11.24	241.2				1	1
	Chimie minérale inorganique autre	0.44	0.235	8.6	3.18	0.7	2	3
	Fabrication de colles et mastics	0.09	2				1	1
	Industrie pharmaceutique	0.06	0.134	0.8	0.438	0.38	2	3
	Phytosanitaires, pesticides (fabrication de)	0.05	1				0	1
	Fabrication de matières plastiques de base	0.02	0.02	0.1705	0.1155	0.156	1	3
<b>Sidérurgie, métallurgie, coke (14,8 %)</b>	Sidérurgie, première transformation	44.30	0.6	260	88	61	4	5
	Production d'acier brut, aciéries	14.24	0.22	73	15.768	3.63	8	9

<sup>19</sup> Les données pour 2003 sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	% émissions du secteur	Masses émises (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Mediane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs	
		Min	Max			2005	2006
Indéterminé	12.94	54	75	64.5		2	2
Ferro-alliages, abrasifs (industrie des)	12.87	0.36	119	32	4.45	4	4
Fonderie des métaux ferreux	8.86	0.047	44.7	11	1	6	8
Fonderie des métaux non ferreux	3.45	0.2	28	6.9	1.94	4	5
Première transformation de l'acier	1.05	10.43				1	1
Métallurgie de l'aluminium	0.75	1	6.5	3.75		1	2
Cokéfaction, usines à gaz	0.65	6.528				1	1
Métallurgie du plomb et du zinc	0.63	2.72	3.56	3.14		2	2
Travail des métaux, chaudronnerie, poudres	0.15	1.5				0	1
Métallurgie des métaux non ferreux, affinage	0.06	0.599				1	1
Fonderie et travail des métaux	0.04	0.0019	0.2009	0.1007	0.1	7	4
Autres métaux non ferreux (métallurgie des)	0.00	0.03				0	1
<b>Déchets et traitement (7,6 %)</b>							
Traitement de déchets urbains	46.27	0.0022	31	2.6	1.1	85	83
Incinération	36.93	0.068	38.58	4.9	1.76	36	39
Traitement de déchets industriels	6.72	0.013	20.2	4.3	0.66	7	8
Décharges d'ordures ménagères	6.41	1.01	31	11.03	1.1	3	3
Indéterminé	2.82	0.072	6.8	1.8	0.6	8	8
Stations d'épuration urbaines	0.75	0.1	2.7	0.774	0.3	5	5
Regroupement, reconditionnement de déchets	0.06	0.31				2	1
Traitements physico- chimiques	0.03	0.17				1	1

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

		% émissions du secteur	Masses émises (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Mediane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs	
			Min	Max			2005	2006
	Récupération, dépôts de ferrailles	0.01	0.03				1	1
Energie (4,6 %)	Centrales électriques thermiques	82.01	3.6	88	28.6	8	6	9
	Production d'électricité	17.90	56.21			56.21	0	1
	Chaufferies urbaines	0.09	0.276				1	1

L'industrie du verre représente près de 40 % des rejets annuels totaux des industries soumises à déclaration (98 % des émissions de la catégorie). Le tableau 3.5 fait apparaître qu'une seule usine de production de verre émettrait 0,5 tonne d'arsenic par an, soit plus de 8 % des rejets atmosphériques annuels d'arsenic en France (rejets des installations classées).

Dans le secteur de la chimie-parachimie-pétrole, les émissions atmosphériques d'arsenic<sup>20</sup> représentent 31,8 % des émissions totales d'arsenic des installations classées en France pour 2006. Les contributeurs les plus importants à ces rejets sont présents dans l'industrie chimique, phytosanitaire et pharmaceutique (près de 13 % de l'arsenic total rejetés par les installations classées en 2006 sont effectuées par une seule usine), ainsi que dans le domaine de la pétrochimie et du raffinage de pétrole.

Pour ce secteur, la combustion du charbon, utilisé comme source d'énergie, est à l'origine des rejets d'arsenic dans l'air.

Environ 15 % des émissions d'arsenic des installations classées proviennent du secteur de la sidérurgie et de la métallurgie. Ces rejets sont présents en majorité dans la sidérurgie, dans les aciéries et les fonderies de métaux ferreux et non ferreux.

L'industrie des déchets et de leur traitement représente 7,6 % des quantités d'arsenic émises par la totalité des installations classées. Les trois catégories d'industries dont les rejets sont les plus importants sont le traitement des

<sup>20</sup> Généralement la mesure des émissions d'arsenic est effectuée une fois par année et ramenée au débit des effluents gazeux. Cette façon de procéder entraîne donc une grande incertitude sur les données, en particulier pour les sites ayant une activité fluctuante sur l'année.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

déchets, les incinérateurs et le traitement des déchets industriels. Il est important de noter le grand nombre de sites (près de 300) concernés par ce secteur d'activité, contrairement aux autres secteurs industriels émetteurs d'arsenic.

Enfin, le dernier contributeur important (4,6 % des rejets d'arsenic des installations classées) concerne le domaine de l'énergie avec en particulier les centrales électriques thermiques (82% des émissions du secteur).

Par conséquent, la réduction des émissions d'arsenic sur certains sites industriels précis (ou plus généralement sur certains secteurs industriels bien identifiés) pourrait avoir un impact significatif sur les rejets totaux annuels.

## 3.4 Emissions atmosphériques par combustion de bois traité

Avant septembre 2007, le bois destiné à être utilisé en extérieur était fréquemment (et est en encore sous certaines conditions : cf. §4.3) traité avec du CCA (chromate copper arsenate). Ce traitement conférait au bois une résistance supérieure à celle des bois non traités.

Bien que la réglementation encadre dorénavant cette pratique, il est apparu de la destruction des bois traités est problématique vis à vis des émissions d'arsenic. Ainsi, Lundholm *et al.* (2007) estiment que, lors de la combustion de bois traité au CCA dans un dispositif de 15 kW :

- de 30 à 45% de l'arsenic utilisé durant le traitement demeurent dans les cendres (résultats mesurés) ;
- de 35 à 60% de l'arsenic sont émis sous forme de particules submicroniques (résultats mesurés) ;
- de 30 à 60% de l'arsenic sont émis sous forme gazeuse (résultats calculés).

Bien que ces résultats demanderaient à être confirmés par d'autres expérimentations, il semble que plus des 2/3 de l'arsenic contenu dans un bois traité au CCA soit émis à l'atmosphère durant la combustion<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Des alternatives au traitement des bois par CCA semblent être en voie de développement, citons par exemple l'ASAM (anhydride succinite d'alkéonoate de méthyle), substance d'origine végétale, développée par l'Unité de chimie agro-industrielle de l'INRA.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 3.5 Emissions vers les eaux

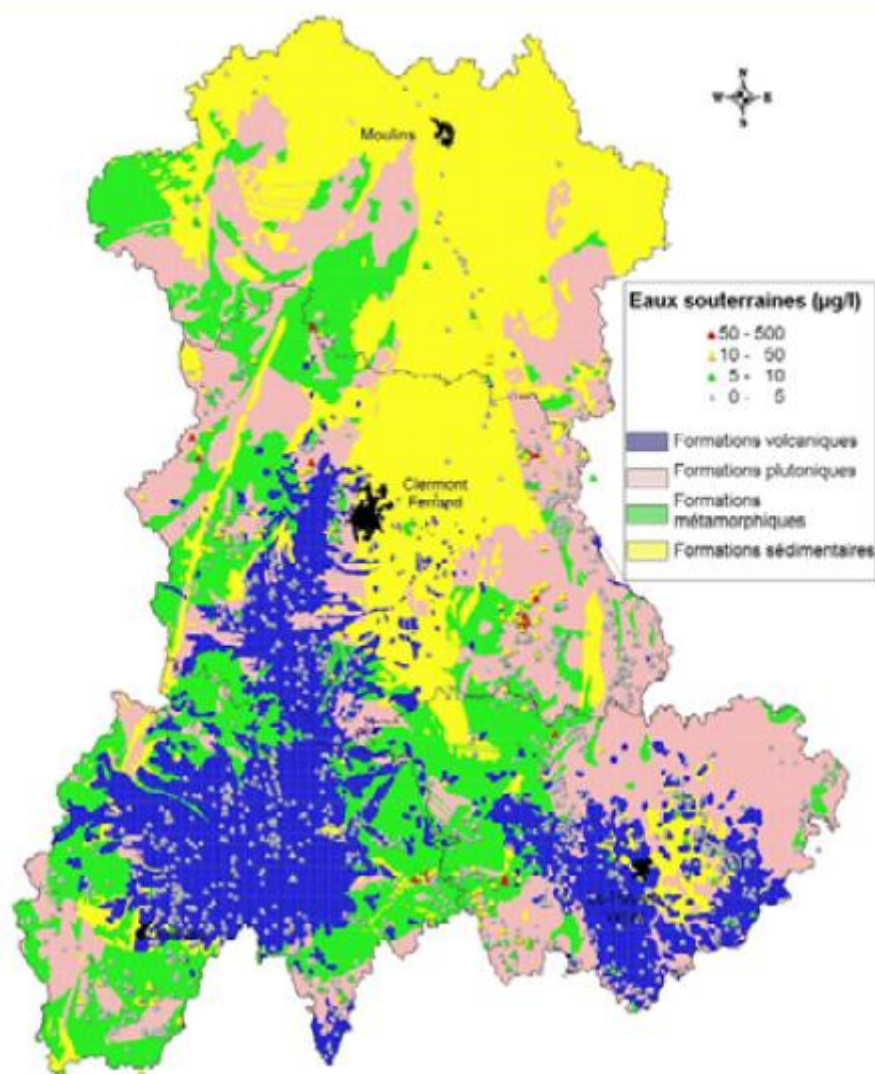
- **Présence d'origine non anthropique : le fond géochimique**

Même si aucun rejet d'arsenic n'est effectué vers une masse d'eau donnée (de surface ou souterraine), cette masse d'eau peut néanmoins contenir de l'arsenic de façon naturelle. Cette teneur est liée aux caractéristiques physico-chimiques des eaux ainsi qu'à la géologie régionale : on appelle cette teneur le « fond géochimique ».

Par exemple, selon le BRGM (2006), dans le Puy-de-Dôme, sur les 1200 sources et forages recensés, quelques points d'eau présentent des traces d'arsenic, d'origine naturelle et attribuable au fond géochimique, à un taux parfois nettement supérieur à  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ , la norme de potabilité (Figure 3.4).

## ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.4. Carte des concentrations en arsenic dans les eaux souterraines en région Auvergne (document repris du BRGM, 2006).



Des informations concernant la méthode préconisée pour caractériser le fond géochimique sont présentées dans un guide technique publié par le BRGM (2006b).

### ▪ Emissions anthropiques

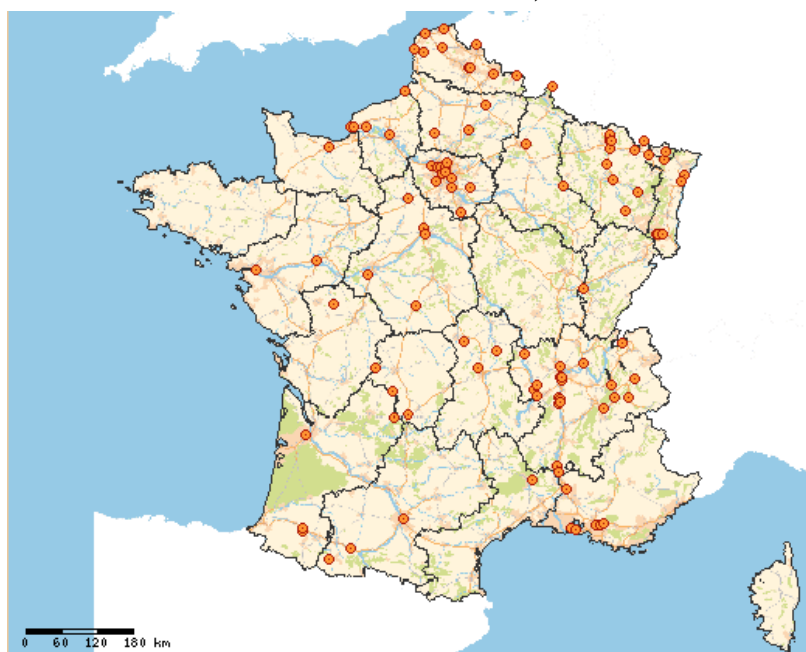
Au cours de cette synthèse, aucune information globale d'émissions d'arsenic dans les eaux n'a été recueillie.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

L'arsenic et ses composés minéraux ont de très nombreuses applications industrielles (cf. §3.2). Il semble donc probable que le secteur industriel soit prépondérant quant aux rejets vers les eaux.

La figure 3.5 extraite du site internet IREP permet de localiser les différents sites émetteurs d'arsenic dans l'eau en France métropolitaine.

*Figure 3.5. Localisation des différents sites émetteurs d'arsenic dans les eaux en France (extrait du site internet IREP en date du 04/02/2008 et correspondant aux données de 2005).*



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

A l'image des émissions industrielles atmosphériques d'arsenic, les émissions vers les eaux présentent une certaine inhomogénéité. On note par exemple la sur-représentation du quart nord-est de la France et la sous-représentation du quart nord-ouest.

Quoiqu'il en soit, une information plus importante sur les entreprises concernées est disponible sur le site internet IREP et permettrait d'approfondir les connaissances sur l'activité et les rejets de ces entreprises.

Dans le tableau 3.4 ci-dessous figurent les émissions d'arsenic dans l'eau pour les industries soumises à déclaration.

*Tableau 3.4. Emissions d'arsenic dans les eaux par les installations soumises à déclarations de 2003 à 2006 (données BDREP)<sup>22</sup>.*

Année	Emissions As (t.an <sup>-1</sup> )
2003	2,7
2004	4,7
2005	5,4
2006	4,6

Sur la période 2004-2006, les émissions totales d'arsenic dans l'eau sont restées relativement stables.

Les secteurs qui rejettent le plus sont les industries extractives, la sidérurgie - métallurgie - coke, la chimie - parachimie - pétrole, les déchets et traitements et les industries du bois, papiers et cartons. Des émissions d'arsenic, moins importantes, sont également le fait des industries de traitement de surface, de l'énergie, de l'agroalimentaire et du textile

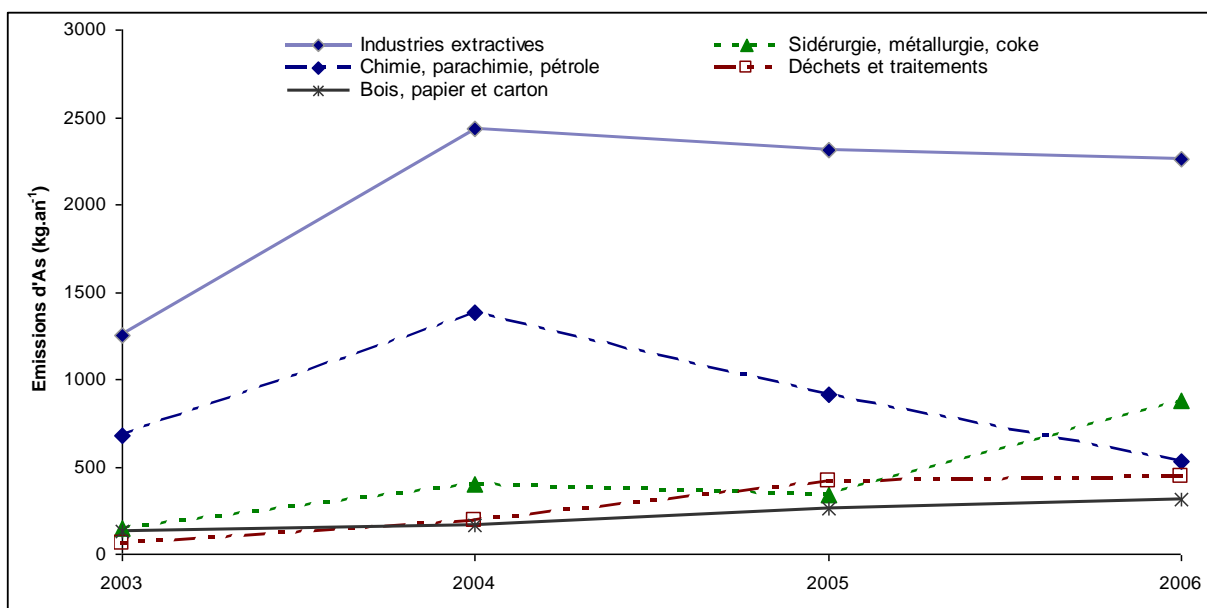
Le graphique ci-après (Figure 3.6) montre l'évolution des émissions d'arsenic vers les eaux pour ces cinq secteurs.

<sup>22</sup> Les données pour 2003 sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement..



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Figure 3.6. Evolution des émissions d'arsenic dans les eaux d'arsenic par les cinq principaux secteurs émetteurs (données BDREP).



Sur ce graphique sont représentées les variations des émissions d'arsenic dans l'eau par les cinq plus importants secteurs industriels concernés pour la période 2003-2006.

Les valeurs pour l'année 2003 sont purement indicatives. Pour la période 2004-2006, les rejets d'arsenic par les industries extractives ont diminués d'environ 10 % ; ceux du secteur de la chimie et du pétrole ont été divisés par un facteur 2,5. Sur la même période, les émissions d'arsenic par les secteurs sidérurgique, des déchets et du bois et papiers ont été multipliées par 2. De nombreuses variations d'émissions d'une année sur l'autre sont à observer, particulièrement dans le secteur de la chimie.

Le tableau suivant donne, pour 2006, la part de chaque secteur dans les émissions totales d'arsenic ainsi que la répartition des rejets à l'intérieur de chaque secteur. On retrouve également la valeur minimale et maximale des rejets ainsi que la valeur médiane qui permet de savoir si la distribution des émissions est homogène pour chaque type d'industrie ou si un site concentre la majorité des rejets. Le nombre de sites émetteurs pour 2005 et 2006 sont également présentés dans ce tableau.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 3.5. Panorama des émissions d'arsenic des installations soumises à déclarations en 2006 (données BDREP)<sup>23</sup>.

		% émissions dans la catégorie	Masse émise (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Médiane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs	
			Min	Max			2005	2006
<b>Industries extractives (49 %)</b>	Minerais non métalliques (extraction de)	96,00					1	1
	Minerais non métalliques, carrières (extraction de)	4,00					0	1
<b>Sidérurgie, métallurgie, coke (19 %)</b>	Indéfini	54,56					1	1
	Fabrication d'alumine	26,19					1	1
	Ferro-alliages, abrasifs (industrie des)	14,84	0,02	129,6	43,2	0,1	2	3
	Fonderie des métaux non ferreux	1,64	0,0006	14	2,9	0,1	3	5
	Fonderie et travail des métaux	0,96	6,4E-05	7	2,1	0,7	4	5
	Sidérurgie, première transformation	0,70					1	1
	Métallurgie de l'aluminium	0,53					1	1
	Fonderie des métaux ferreux	0,43					2	0
	Première transformation de l'acier	0,11					1	1
	Production de fontes (haut fourneau)	0,05					1	1

<sup>23</sup> Les données pour 2003 sont présumées incomplètes et sont données à titre indicatif. D'autre part, au jour de l'extraction des informations contenues dans BDREP, pour l'exercice 2006, environ 15% des données sont en attente de renseignement..

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	% émissions dans la catégorie	Masse émise (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Médiane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs		
		Min	Max			2005	2006	
Métallurgie des métaux non ferreux, affinage	0,00					1	1	
<b>Chimie, parachimie, pétrole (11,6 %)</b>	Chimie, phytosanitaire, pharmacie	34,61	0,0004	102	20,5	9,6	7	9
	Industrie du caoutchouc	28,28	0,0003	103	30,2	15	3	5
	Fabrication des engrais	11,51	0,4	61	30,7	30,7	1	2
	Industrie pharmaceutique	8,16	0,65	42	14,5	0,9	4	3
	Pétrochimie carbochimie organique	7,59	2,9	15,3	10,1	11,15	4	4
	Poudres et explosifs (fabrication de)	3,88					1	1
	Chimie minérale inorganique autre	3,75	0,24	9,3	4	4,6	5	5
	Raffinage de pétrole, carburants et lubrifiants	1,67	2	3,9	3	0,33	2	3
	Dépôts de pétrole, produits dérivés ou gaz naturel	0,15					1	1
	Fabrication de détergents	0,14					1	1
	Transformation des matières plastiques	0,12	0,02	0,5	0,16	0,06	4	4
	Caoutchouc et matières plastiques	0,07					1	1

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	% émissions dans la catégorie	Masse émise (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Médiane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs	
		Min	Max			2005	2006
Phytosanitaires, pesticides (fabrication de)	0,06	0,14	0,202	0,17	0,17	0	2
Fabrication de peintures	0,00					0	1
Encres	0,00					1	1
<b>Déchets et traitements (9,7 %)</b>							
Poudres et explosifs	0,00					1	1
Fabrication de matières plastiques de base	0,00					1	1
Incineration	38,51	0,0062	103	10,7	1	2 1	1 6
Stations d'épuration urbaines	18,58	0,33	54	20,7	14,2	1	4
Décharges d'ordures ménagères	13,82	0,0001	17,42	1,2	0,2	3 3	5 0
Mise en décharge	9,65	0,0022	35	2,3	0,18	1 6	1 9
Stations d'épuration industrielles	8,98	5	35	20	20	2	5
Traitement de déchets urbains	7,12	0,0001 3	3,5	0,6	0,25	4 7	5 4
Traitement de déchets industriels	2,85	0,0009	9	1,15	0,11	1 1	1 1
Regroupement d'OM, DIB	0,26	0,2	0,94	0,57	0,57	1	2
Déchets et traitements	0,09	0,006	0,29	0,096	0,044	4	4
Traitements physico-chimiques	0,07	0,0063	0,31	0,16	0,16	2	2

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

	% émissions dans la catégorie	Masse émise (kg.an <sup>-1</sup> )		Moyenne (kg.an <sup>-1</sup> )	Médiane (kg.an <sup>-1</sup> )	Nombre d'émetteurs		
		Min	Max			2005	2006	
Récupération, dépôts de ferrailles	0,04					1	1	
Regroupement, reconditionnem ent de déchets	0,03	0,002	0,1	0,03	0,01	2	4	
Traitements biologiques	0,00					1	1	
<b>Industries du bois et papiers (6,75 %)</b>	Industrie du papier et du carton	44,42	0,2	100	46,1	38	1	3
	Fabrication de pâte à papier	37,60					1	1
	Fabrication de papiers et carton	17,98	0,5	55,44	27,97	27,97	3	2
	Produits en bois, ameublement (fabrication de)	0,00					1	1

D'après ce tableau, les principaux émetteurs industriels (sites soumis à déclaration) d'arsenic dans l'eau en 2006 sont les industries excavatrices (environ 50 % des rejets totaux). En 2006, seuls deux sites étaient responsables de ces émissions.

Le secteur de la sidérurgie rejette 19 % de l'arsenic pour cette même année : ce sont en particulier les entreprises de fabrication d'alumine et l'industrie des ferro-alliages et abrasifs.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Le secteur chimique, parachimique et pétrolier regroupe 11,6 % des émissions dans l'eau en 2006. Dans cette catégorie les principaux émetteurs sont les secteurs chimie - phytosanitaire - pharmacie, caoutchouc et fabrication des engrais.

Près de 10% des émissions d'arsenic dans l'eau sont dues au secteur des déchets et de leur traitement. La plus grande part est celle de l'incinération, puis les stations d'épuration urbaines et les décharges d'ordures ménagères. Il faut remarquer également une forte augmentation du nombre d'émissions déclarées dans ce secteur (environ +30 entre 2005 et 2006).

Finalement, le dernier secteur important des émissions d'arsenic dans l'eau en 2006 est celui de l'industrie du bois et papier (environ 7% des rejets annuels)

**Par conséquent, la réduction des émissions d'arsenic sur certains sites industriels précis (ou plus généralement sur certains secteurs industriels bien identifiés) pourrait avoir un impact significatif sur les rejets totaux annuels.**

## 3.6 Emissions totales vers les sols

Au cours de cette synthèse, aucune information n'a été recueillie nous permettant de renseigner cette rubrique. Néanmoins, il semble probable que la source industrielle d'arsenic pour les sols soit la source la plus importante.

## 3.7 Emissions industrielles vers les sols

La base de données BDREP ne contient pas de donnée correspondant aux émissions industrielles vers les sols.

Néanmoins, le site internet BASOL<sup>24</sup> (Base de données BASOL sur les sites et sols pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif) contient plusieurs centaines d'occurrences correspondant à une contamination par l'arsenic.

L'exploitation de cette base de données pourrait permettre d'approfondir les connaissances sur les activités industrielles historiques ou présentes utilisant de l'arsenic. De même, cette base de données s'avère également être une source d'information sur les actions engagées pour faire face à la contamination des sols par l'arsenic.

<sup>24</sup> <http://basol.environnement.gouv.fr/recherche.php>

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 3.8 Emissions agricoles vers les sols

Suite à l'interdiction en 2001 (cf. §4.3) de l'arsénite de soude en tant que produit phytosanitaire (utilisé en viticulture pour la lutte contre les maladies du bois), une collecte nationale des produits contenant cette substance est organisée. En effet, un accord est intervenu entre les pouvoirs publics (Ministère de l'Agriculture et de la pêche, Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) et la profession agricole pour organiser une collecte unique et gratuite afin d'éliminer les stocks détenus par les distributeurs et les viticulteurs, actifs ou retraités.

A l'issue de cette action, on peut estimer que les émissions agricoles d'arsenic vers les sols (et indirectement vers les eaux) seront proches de zéro. En effet, le seul produit phytosanitaire encore autorisé contenant de l'arsenic est un formicide (cf. §4.3) et n'est donc :

- ni utilisé en grandes quantités ;
- ni employé sous une forme susceptible de contaminer facilement les sols et eaux.

## 4. REGLEMENTATION

La production, l'utilisation ainsi que les rejets d'arsenic sont réglementés par différents textes dont les plus significatifs sont repris ci-dessous.

### 4.1 Valeurs utilisées en milieu de travail - France

Les valeurs ci-dessous reprises sont tirées de notes documentaires rédigées par l'INRS 2003 ; 2006c).

- Air : VME<sup>25</sup> (trioxyde d'arsenic) en As : 0,2 mg.m<sup>-3</sup> ;
- Indices biologiques d'exposition :
  - urines (As élémentaire et composés inorganiques solubles) en As : 50 µg.L<sup>-1</sup> ;
  - urines (arsenic) : 130 mg/L pour une exposition à 0,1 mg.m<sup>-3</sup> en trioxyde d'arsenic.

<sup>25</sup> Valeur limite moyenne d'exposition : ces valeurs sont destinées à protéger le travailleur des effets à terme, mesurés ou estimés, sur la durée d'un poste de travail de 8 heures (INRS, 2006c).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 4.2 Valeurs utilisées pour la population générale

### Qualité de l'eau

La Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau (eau de surface, eaux transitoire, eau côtière et eau souterraine). Dans ce texte l'arsenic est placé en Annexe VIII : « Liste indicative des principaux polluants ».

### Qualité des eaux de consommation

En France, le *Décret n° 2001 - 1220 du 20 décembre 2001* relatif aux eaux destinées à la consommation fixe la teneur maximale en arsenic à  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

En Europe, la Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine fixe la teneur maximale en arsenic à  $10 \mu\text{g.L}^{-1}$ .

### Qualité de l'air

En Europe, la *Directive fille 2004/107/CE du Conseil du 15 décembre 2004* (directive cadre de 1999) concernant l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans l'air ambiant (JOUE du 26 janvier 2005) fixe une valeur cible<sup>26</sup> en arsenic de  $6 \text{ ng.m}^{-3}$ . Cette valeur ne devra pas être dépassée à partir du 31 décembre 2012. Pour ce faire, les états membres doivent, au plus tard le 15 février 2007, prendre toutes les mesures nécessaires (n'entraînant pas des coûts disproportionnés) pour s'y conformer.

## 4.3 Autres textes

La majorité des secteurs industriels responsables de l'émission d'arsenic à l'environnement est concernée par un ou plusieurs textes spécifiques. Dans le paragraphe ci-dessous, nous ne citons que des extraits des exemples nous ayant paru être significatifs.

Nous citons également des extraits de textes concernant les rejets de poussières car dans certains secteurs industriels, l'arsenic est majoritairement rejeté sous forme particulaire, toute mesure conduisant à l'abattement des teneurs de poussières émises constitue donc indirectement une mesure affectant les rejets atmosphériques d'arsenic.

<sup>26</sup> Moyenne calculée sur l'année civile du contenu total de la fraction PM10.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## Divers emplois de l'arsenic

La Directive n° 2006/139/CE de la Commission du 20 décembre 2006 modifiant la directive 76/769/CEE du Conseil, en ce qui concerne la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi des composés de l'arsenic, en vue d'adapter son annexe I aux progrès techniques (JOUE n° L384 du 29 décembre 2006) indique que les composés de l'arsenic.

1. Ne doivent pas être mis sur le marché ni employés comme substances et composants de préparations destinées à être utilisées pour empêcher la salissure par micro-organismes, plantes ou animaux sur :
  - les coques de bateaux,
  - les cages, flotteurs, filets ainsi que tout autre appareillage ou équipement utilisé en pisciculture et conchyliculture,
  - tout appareillage ou équipement totalement ou partiellement immergé.
2. Ne doivent pas être mis sur le marché ni employés comme substances et composants de préparations destinées à être utilisées pour le traitement des eaux industrielles, indépendamment de leur utilisation.
3. Ne doivent pas être employés pour la protection du bois. En outre, le bois ainsi traité ne doit pas être mis sur le marché.
4. Cependant, des dérogations existent (cf. Annexe 1)
5. Le bois traité avec des composés de l'arsenic utilisé dans la Communauté avant le 30 septembre 2007, ou mis sur le marché conformément aux règles de la présente directive, peut rester en place et continuer à être utilisé jusqu'à ce qu'il atteigne la fin de sa durée de vie utile.
6. Le bois traité avec des solutions CCA de type C<sup>27</sup> utilisé dans la Communauté avant le 30 septembre 2007, ou qui a été mis sur le marché conformément aux règles de la présente directive :
  - peut être utilisé ou réutilisé sous réserve du respect de ses conditions d'emploi,
  - peut être mis sur le marché de l'occasion sous réserve du respect de ses conditions d'emploi, énumérées au point 4, lettres b), c) et d).
7. Les États membres peuvent autoriser que le bois traité avec d'autres types de solutions

<sup>27</sup> CCA de type C : 47,5% de CrO<sub>3</sub> 18,5% de CuO et 34% d'As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

CCA qui était utilisé dans la Communauté avant le 30 septembre 2007:

- soit utilisé ou réutilisé sous réserve du respect de ses conditions d'emploi, énumérées au point 4, lettres b), c) et d),
- - soit mis sur le marché de l'occasion sous réserve du respect de ses conditions d'emploi, énumérées au point 4, lettres b), c) et d). "

## Emplois d'arsenic dans le secteur de la fusion de verre

L'Arrêté du 12 mars 2003 relatif à l'industrie du verre et de la fibre minérale publié au JO du 6 juillet 2003 fixe les prescriptions applicables aux établissements dans lesquels sont exercées à la date de publication des activités de fabrication et de travail du verre ou de fabrication de fibres de verre ou laine de roche.

- Pour les émissions canalisées provenant des unités de fusion, les valeurs limites de rejets en poussières totales sont de 30 mg/Nm<sup>3</sup>. Cette valeur a depuis été ramenée à 40 mg/Nm<sup>3</sup> (Arrêté type - Rubrique n° 2530 : Verre (fabrication et travail du) publié au JO n° 93 du 20 avril 2007 et BO du MEDAD n° 2007/10 du 30 mai 2007).
- Pour les émissions provenant d'une activité hors fusion, la valeur limite de rejet en poussière totale est fixée à 40 mg/Nm<sup>3</sup> si le flux de ces émissions canalisées est supérieur à 1 kg/h ou à 100 mg/Nm<sup>3</sup> si le flux de ces émissions canalisées est strictement inférieur à 1 kg/h. La valeur limite de rejet de 40 mg/Nm<sup>3</sup> est portée à 60 mg/Nm<sup>3</sup> pour les installations fabriquant de la laine minérale dont l'arrêté d'autorisation est antérieur à la publication du présent arrêté.

Si le flux horaire total d'arsenic, de cobalt, de nickel, de sélénium et de leurs composés dépasse 5 g/h, les dispositions suivantes s'appliquent :

- Pour la fabrication du verre coloré au sélénium ou pour la fabrication de verre blanc décoloré au sélénium pour des raisons de qualité de verre, la valeur limite de concentration des rejets d'arsenic, de cobalt, de nickel, de sélénium et de leurs composés est de 3 mg/Nm<sup>3</sup> pour la somme des métaux (exprimée en As + Co + Ni + Se) à la fois en ce qui concerne les rejets des unités de fusion et des autres activités annexes. Cette valeur limite ne s'applique que durant les périodes de fabrication de ce type spécifique de verre.
- Dans les autres cas, la valeur limite de concentration des rejets d'arsenic, de cobalt, de nickel, de sélénium et de leurs composés est de 1 mg/Nm<sup>3</sup> (ou 1 mg/m<sup>3</sup> exprimée en effluents bruts pour les verres affinés à l'arsenic) pour la somme des métaux (exprimée en As + Co + Ni + Se) à la fois en ce qui concerne les rejets des unités de fusion et des autres activités annexes.

Selon l'extrait considéré, le délai de mise en application s'étale de 2006 à 2010.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## Emplois phytosanitaires de l'arsenic<sup>28</sup>

En France, l'*avis du 23 novembre 2001* relatif aux détenteurs d'autorisation de mise sur le marché, aux distributeurs et aux utilisateurs de produits phytopharmaceutiques contenant de l'arsénite de soude (arsenic de l'arsénite de sodium) publié au JO du 23 novembre 2001 impose le retrait des autorisations de mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques contenant de l'arsénite de soude (arsenic de l'arsénite de sodium) sans délai d'écoulement des stocks aussi bien au stade de la distribution qu'à celui de l'utilisation.

Cette mesure est entrée en vigueur à la date du 8 novembre 2001, date de notification des décisions de retraits d'autorisation de mise sur le marché des préparations concernées.

Pour collecter et éliminer les stocks détenus par les distributeurs et les agriculteurs (essentiellement viticulteurs) un accord cadre entre les ministères en charge de l'Ecologie, de l'Agriculture, les Agences de l'eau et Adivalor<sup>29</sup> a été mis en place.

## 5. TOXICITE

### 5.1 Toxicité de la substance

Plusieurs compilations bibliographiques de données et limites toxicologiques et écotoxicologiques sont disponibles, notamment sur les sites internet de :

- INERIS  
([http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id\\_heading\\_object=3](http://www.ineris.fr/index.php?module=cms&action=getContent&id_heading_object=3)) ;
- l'USEPA-IRIS de l'EPA (<http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0278.htm>) ;
- IPCS (<http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pimg042.htm>) ;
- Environnement Canada ([http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt\\_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl1-lsp1/arsenic\\_comp/arsenic-larsenic\\_f.pdf](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/contaminants/psl1-lsp1/arsenic_comp/arsenic-larsenic_f.pdf)) ;
- ...

---

<sup>28</sup> A ce jour, la seule substance active contenant de l'arsenic autorisée en France en tant que produit phytosanitaire est l'arsenic du diméthylarsinate de sodium essentiellement utilisé pour formuler des formicides (site internet e-phy).

<sup>29</sup> Société en charge d'organiser et gérer l'élimination des déchets de l'agro-fourriture.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

De façon synthétique, après ingestion ou inhalation, l'arsenic est rapidement assimilé. Il se distribue dans tous les tissus (principalement les muscles). Après assimilation, son élimination est principalement urinaire. Il peut se stocker dans les tissus riches en kératine comme la peau, les ongles ou les cheveux.

L'arsenic peut également engendrer des malformations de l'embryon et appartient en outre aux carcinogènes de la catégorie 1 (c.à.d. qu'il existe une relation directe prouvée entre prise du produit et formation du cancer).

La toxicité des composés trivalents ou  $As^{III}$  (trichlorure d'arsenic, arsénite de sodium, arsénite de cuivre) est supérieure à celles des composés pentavalents ou  $As^V$  (pentoxyde de diarsenic, arséniate de calcium). Selon Sanjuan *et al.* (2001) pour apprécier la toxicité de cet élément dans un point d'eau, il est nécessaire de réaliser sur le terrain des séparations  $As^{III}/As^V$  afin de déterminer la spéciation de l'élément.

## 5.2 Classification et étiquetage

Les informations concernant la classification et l'étiquetage de l'arsenic et de ses dérivés inorganiques sont regroupées dans le tableau 5.1 ci-après.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 5.1. Classification et étiquetage des composés de la famille de l'arsenic (données d'après l'annexe I de la Directive 67/548/CEE du Conseil, du 27 juin 1967).

Substance	Classification	Etiquetage
arsenic	T ; R23/25 N ; R50-53	T ; N R : 23/25-50/53 S : (1/2-)20/21-28-45-60-61
composés d'arsenic à l'exclusion de ceux nommément désignés dans cette annexe	T ; R23/25 N ; R50-53	T ; N R : 23/25-50/53 S : (1/2-)20/21-28-45-60-61
trioxyde de diarsenic	Carc. Cat. 1 ; R45 T+ ; R28 C ; R34 N ; R50-53	T+ ; N R: 45-28-34-50/53 S : 53-45-60-61
pentaoxyde de diarsenic	Carc. Cat. 1 ; R45 T ; R23/25 N ; R50-53	T ; N R : 45-23/25-50/53 S : 53-45-60-61
acide arsénique et ses sels	Carc. Cat. 1 ; R45 T ; R23/25 N ; R50-53	T ; N R : 45-23/25-50/53 S : 53-45-60-61

T+ : TRES TOXIQUE produit qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peut entraîner des risques extrêmement graves, aigus ou chroniques et même la mort.

T : TOXIQUE produit qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peut entraîner des risques graves, aigus ou chroniques et même la mort.

C : CORROSIF produit qui, par contact avec des tissus vivants, peut exercer une action destructive sur ces derniers.

N : DANGEREUX POUR L'ENVIRONNEMENT substances et préparations qui présenteraient ou pourraient présenter un risque immédiat ou différé pour une ou plusieurs composantes de l'environnement.

R23/25 : Toxique par inhalation et par ingestion.

R28 : Très toxique en cas d'ingestion.

R34 : Provoque des brûlures.

R45 : Peut causer le cancer.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

R50/53 : Très toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

S1/2 : Conserver sous clé et hors de la portée des enfants.

S20/21 : Ne pas manger, ne pas boire et ne pas fumer pendant l'utilisation.

S28 : Après contact avec la peau, se laver immédiatement et abondamment avec... (produits appropriés à indiquer par le fabricant).

S45 : En cas d'accident ou de malaise, consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette).

S53 : Eviter l'exposition, se procurer des instructions spéciales avant l'utilisation.

S60 : Eliminer le produit et son récipient comme un déchet dangereux.

S61 : Eviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/ la fiche de donnée de sécurité.

Carc. Cat. 1 : Substance que l'on sait être cancérogènes pour l'homme.

## 6. PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

Selon l'OMS (2001), l'arsenic est largement répandu dans toute la croûte terrestre. Dans certaines régions, les eaux souterraines en contiennent parfois des quantités importantes en raison de l'érosion.

Les effluents industriels contribuent également à la présence d'arsenic dans l'eau dans certaines régions. L'arsenic est d'autre part utilisé à des fins commerciales, principalement dans les alliages et les conservateurs du bois. L'utilisation de combustibles fossiles explique aussi la présence d'arsenic dans l'environnement du fait de dépôts atmosphériques dispersés.

On peut trouver de l'arsenic inorganique dans l'environnement sous plusieurs formes mais, dans les eaux naturelles et donc dans l'eau de boisson, il se présente la plupart du temps sous forme d'arsénite trivalent ( $As^{III}$ ) ou d'arséniat pentavalent ( $As^V$ ). Les formes d'arsenic organique, abondantes dans les poissons et les coquillages, sont beaucoup moins dangereuses pour la santé et facilement éliminées par l'organisme.

### 6.1 Concentrations ubiquitaires

Le tableau synthétique 6.1 est issu du document INERIS (2006).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 6.1. Concentration ubiquitaire de l'arsenic dans les différents compartiments de l'environnement.

Milieu	Concentration
Air	< 2 ng/m <sup>3</sup> (1)(2)*
<b>Eaux de surface</b>	
- eaux douces	< 10 µg/L (1)(2)(3)
- mers	< 3 µg/L (1)(3)(4)
<b>Sols</b>	< 40 mg/kg (1) (2) (5)
<b>Sédiments marins</b>	< 15 mg/kg (3)

(1) IUCLID (2000)

(2) ATSDR (1993)

(3) Molénat et al., (2000)

(4) OMS IPCS (1981)

(5) HSDB (2000)

\* principalement sous forme de trioxyde d'arsenic particulaire

Au vu des concentrations d'arsenic observées dans le compartiment « eau » de l'environnement (< 10 µg.L<sup>-1</sup>), les données sur les émissions industrielles dans l'eau et urbaines<sup>30</sup> de l'ordre du µg.L<sup>-1</sup> (INERIS, 2008) sont difficilement exploitables. En effet, de telles valeurs peuvent indifféremment être attribuées au « bruit de fond géochimique » (concentration des eaux en arsenic « naturellement » présent) ou à des rejets industriels suite à l'utilisation de cet élément.

## 6.2 Exemples d'aquifères français contaminés par l'arsenic

Le BRGM (2006b), donne quelques exemples d'aquifères français contaminés par l'arsenic (tableau 6.2).

<sup>30</sup> Données obtenues lors de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les installations classées et autres installations (INERIS, 2008)

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 6.2. Exemple d'aquifères français contaminés par l'arsenic (d'après le BRGM, 2006b).

Aquifère	Concentration mesurée	Hypothèse expliquant la présence d'As
Nappe du miocène d'Aquitaine	> 100 µg.L <sup>-1</sup>	Modification des conditions d'oxydo-réduction entraînant une désorption depuis les argiles, la matière organique ou les hydroxydes de Fe ou de Mg.
Bathonien supérieur du Haut-Rhin	Jusqu'à 6 260 µg.L <sup>-1</sup>	Circulations d'eau dans les fractures des roches présentant des filons riches en minéraux sulfurés <sup>31</sup> .
Callovien du Haut-Rhin		
Auvergne	Jusqu'à 140 µg.L <sup>-1</sup> essentiellement sous forme V	Contact dans les zones de fracture entre l'eau et les sulfures contenus dans les roches locales <sup>32</sup> .

## 6.3 Charge critique

La charge critique est définie comme une valeur d'exposition à un ou plusieurs polluants en dessous de laquelle des effets significatifs indésirables sur des éléments sensibles de l'environnement n'apparaissent pas en l'état actuel des connaissances (Nilsson et Grennfelt, 1988).

En pratique, la charge critique « rend compte » de la sensibilité d'un milieu aux retombées atmosphériques d'un polluant.

<sup>31</sup> La mise en solution de l'arsenic se fait par oxydation des sulfures.

<sup>32</sup> Cf. §3.5.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Ce concept a été adopté vers les années 90 par la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies dans le cadre de la convention de Genève sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (pour les oxydes de soufre et d'azote). Le concept a été développé et validé pour les métaux lourds (plomb, mercure et cadmium).

Alterra (2006) a montré que les calculs de la charge critique pour l'arsenic sont possibles. Les graphiques suivants (figure 6.1) illustrent les résultats obtenus pour l'arsenic sur les écosystèmes agricoles et forestiers (ou non-agricoles) et sur la santé humaine (à travers la consommation d'eau douce de surface dans les deux types d'écosystèmes).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

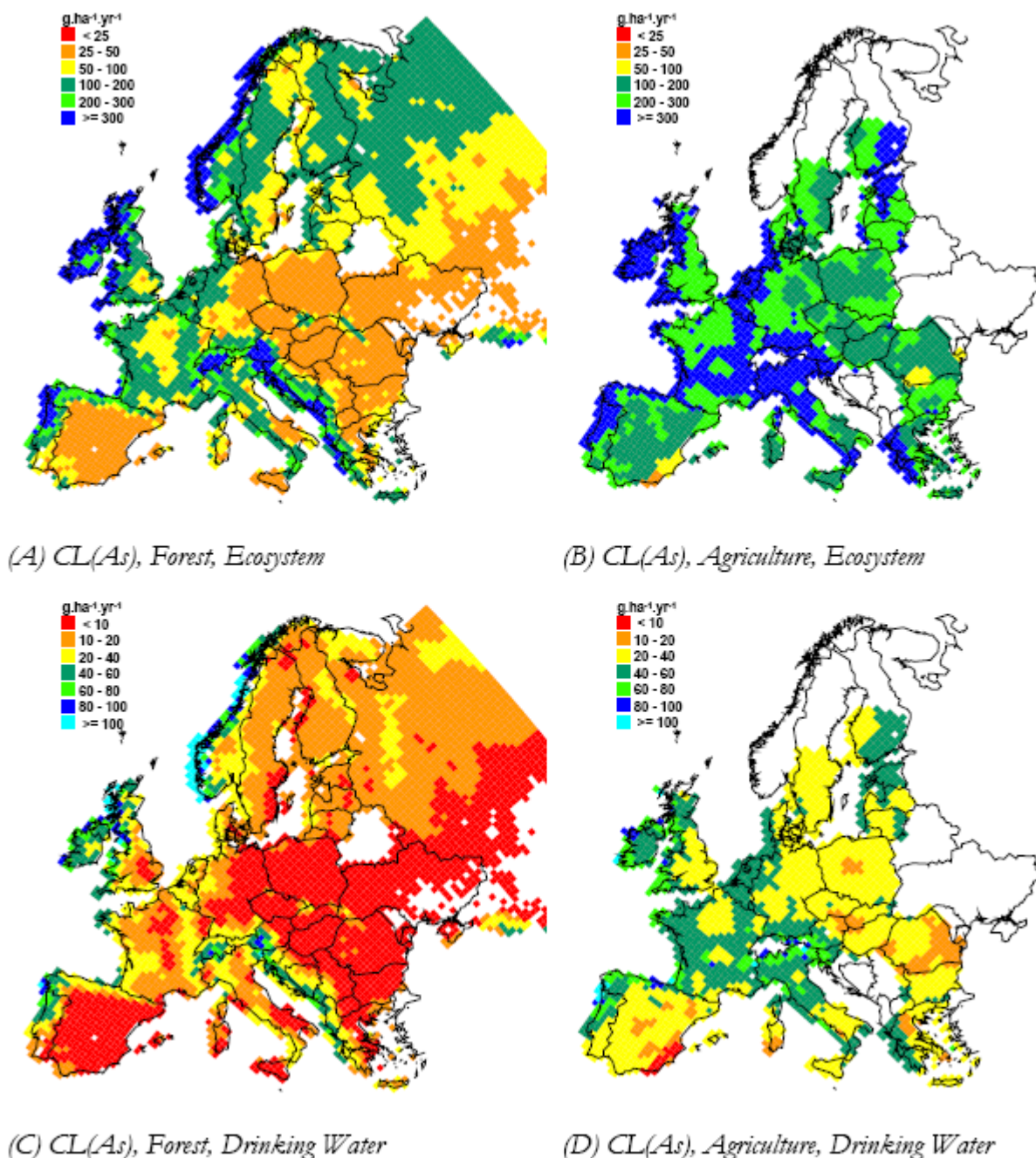


Figure 6.1. Représentation cartographique des calculs de charge critique pour l'arsenic sur l'Europe (d'après ALTERRA, 2006).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Cette approche pourrait être utilisée pour évaluer l'impact à l'échelle locale et à l'échelle nationale (voire internationale) des émissions. Elle peut également être utilisée en modélisation intégrée pour évaluer l'impact des mesures réglementaires.

## 7. PERSPECTIVES DE REDUCTION A LA SOURCE

### 7.1 Réduction des émissions industrielles atmosphériques

Pour rédiger ce paragraphe, nous nous sommes appuyés sur les « Meilleures Techniques Disponibles » rassemblées dans les « BREF ». Ces documents sont disponibles sur le site internet de l'European IPPC Bureau : <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>. Pour certains de ces documents, des résumés en français sont disponibles sur le site AIDA de l'INERIS ([http://aida.ineris.fr/bref/bref\\_cadres.htm](http://aida.ineris.fr/bref/bref_cadres.htm)).

Les BREF proposent les solutions de réduction des émissions de polluants les plus adaptées en fonction des secteurs d'activité. Les principales émissions d'arsenic dans l'air sont regroupées dans quelques secteurs d'activité bien précis (cf § 3.2). Nous ne présenterons donc que les recommandations pour ces industries.

#### Industrie du verre

Dans l'industrie du verre, en particulier pour la fabrication du cristal et des verres spéciaux, des précautions sont prises pour limiter les rejets d'arsenic dans l'atmosphère. Pour la fabrication du cristal au plomb 24%, les émissions d'arsenic peuvent atteindre  $20\text{mg}\cdot\text{Nm}^{-3}$ . Pour traiter les émissions de métaux lourds, et plus particulièrement d'arsenic, **le BREF recommande d'effectuer une meilleure sélection des matières premières combinée si nécessaire à une épuration des gaz acides.**

Cependant, une grande partie des émissions d'arsenic se font sous forme de poussières, la réduction de ces rejets passe par une élimination des poussières (électrofiltres, filtres à manches<sup>33</sup>). Le traitement des gaz acides (lavage) permet également un abattement de la quantité de poussières émises.

---

<sup>33</sup> Selon des avis d'experts, l'adoption de cette technique dans le secteur de la verrerie s'accompagnerait d'une diminution de la température des rejets ainsi que de la création d'un « gâteau » de filtration. Ceci pourrait concourir à la diminution de la concentration en arsenic gazeux dans les rejets dans une proportion indéterminée.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## Industrie chimie inorganique, engrais, acides

Il n'existe pas de données spécifiques à l'arsenic ; mais il est possible de réduire ses émissions en piégeant les poussières.

Le BREF propose l'utilisation d'une ou d'une combinaison des techniques suivantes :

- Cyclone ;
- filtre en tissu ou en céramique ;
- dépoussiéreur par voie humide ;
- dépoussiéreur électrostatique.

Le tableau présenté en annexe 2 illustre les différentes techniques de traitement des effluents gazeux dans ce secteur d'activité.

## Sidérurgie, aciérie

Aucune donnée spécifique à l'arsenic ne figure dans le BREF correspondant. Cependant, il donne des informations sur les techniques de traitement des rejets de métaux lourds.

La technique de traitement préconisée dans les installations d'agglomération est l'utilisation de systèmes d'épuration fine par voie humide pour éliminer les métaux lourds hydrosolubles ou l'utilisation d'un filtre à manches avec addition de chaux suivi par la mise en décharge contrôlée (enrobage hermétique, collecte et traitement des lixiviats) des poussières provenant du dernier champ de l'électrofiltre au lieu de les recycler vers la bande d'agglomération, éventuellement après extraction de l'eau et précipitation des métaux lourds afin de limiter la quantité à mettre en décharge.

## Cimenterie

Dans les cimenteries comme pour les autres secteurs industriels, les émissions de métaux lourds non volatils sont réduites en diminuant les rejets de poussières de ces industries.

Les mesures primaires générales suivantes figurent parmi les meilleures techniques disponibles pour fabriquer le ciment. La sélection et le suivi rigoureux des matières introduites dans le four permettant de réduire les émissions : il est conseillé de choisir chaque fois que possible des matières premières et des

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

combustibles à faible teneur en soufre, azote, chlore, métaux et composés organiques volatils.

Les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions de poussières combinent les mesures primaires générales et les mesures suivantes :

- Minimisation/prévention des émissions de poussières des sources fugitives dans certaines conditions<sup>34</sup>.
- Élimination efficace des matières particulaires des points sources au moyen de :
  - filtres électrostatiques munis d'équipements de mesure et de contrôle à réaction rapide pour minimiser les pics,
  - filtres à manches à plusieurs compartiments avec « détecteurs » de manches percées.

Le niveau d'émission moyen journalier associé aux MTD<sup>35</sup> lors de l'utilisation de ces techniques est de 20 à 30 mg de poussières par m<sup>3</sup>. Il peut être atteint en équipant de filtres électrostatiques ou de filtres à manches, ou des deux systèmes.

## Déchets - Traitement

Il n'existe pas de données pour le traitement des émissions d'arsenic dans l'air.

Il convient, comme pour les autres secteurs d'activité de limiter les rejets de poussières afin de diminuer les émissions d'arsenic dans l'air.

## Conclusion de l'étude des BREF

Excepté pour l'industrie du verre, ces documents ne fournissent aucune recommandation concernant spécifiquement les émissions d'arsenic dans l'air. Seul le BREF sur l'industrie du verre recommande de sélectionner des matières premières dont

---

<sup>34</sup> Exemples de techniques de réduction des émissions fugitives de poussières (émissions dues à une perte progressive d'étanchéité d'un équipement conçu pour contenir un fluide (liquide ou gazeux) et dans lequel une différence de pression provoque une fuite):

- Protection contre le vent des matériaux stockés à ciel ouvert.
- Pulvérisation d'eau et d'agents chimiques permettant d'éviter la formation de poussières.
- Pavage, humidification des chaussées, propreté.
- Nettoyage par des systèmes d'aspiration fixes et mobiles.
- Ventilation et récupération dans des filtres à manches.
- Stockage en milieu clos avec système de manutention automatique.

<sup>35</sup> Meilleurs Techniques Disponibles.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

le niveau de contamination en arsenic est très faible et d'utiliser le lavage des gaz acides pour diminuer les émissions.

L'arsenic étant majoritairement rejeté sous forme particulaire, les techniques de réduction des particules sont à recommander à l'ensemble des secteurs industriels émetteurs (cf. annexe 3 : techniques de réduction des émissions industrielles atmosphériques de poussières<sup>36</sup>) Néanmoins, en ce qui concerne l'arsenic, le taux de réduction des rejets ne peut être estimé qu'au cas par cas en fonction des rejets initiaux en particules d'une part et des teneurs en arsenic de ces particules d'autre part.

Cependant certaines études de l'INERIS démontrent que de l'arsenic peut être également rejeté sous forme gazeuse depuis un site industriel. A ce jour, les BREFs ne contiennent aucune information spécifique à la réduction des émissions d'arsenic gazeux.

## Retour d'expérience des industriels de la chimie

Le paragraphe suivant reprend des informations qui nous ont été communiquées par certains industriels ayant une activité rejetant de l'arsenic dans l'atmosphère. Celles-ci ne doivent pas être prises comme un état des lieux des sites industriels français mais plutôt comme des indications concernant les mesures envisageables dans le secteur donné (ici, celui de la chimie).

A ce jour, il n'existe pas de système de traitement propre aux rejets atmosphériques d'arsenic d'origine industriel, mais les efforts se portent sur l'abattement de la pollution par les particules.

Par exemple, l'usine NOVACARB de la Madeleine (production de carbonate de calcium à destination des verreries) met en place des électro-filtres et espère atteindre des rejets de poussières voisins de 30 à 40 mg.m<sup>-3</sup> dès 2008 (actuellement les rejets avoisinent 200 mg.m<sup>-3</sup>) pour se mettre en conformité avec la réglementation. Le coût de cette opération est estimé à 6 M€.

Une autre entreprise du secteur va ajouter un module de lavage des effluents à son système de dépollution originel (multi-cyclone et électrofiltre) afin d'atteindre des concentrations de poussières inférieures à 50 mg.m<sup>-3</sup> (actuellement les rejets avoisinent 100 à 120 mg.m<sup>-3</sup>) Cette opération lui coûtera 1,5 M€.

<sup>36</sup> Cette annexe fait correspondre des quantités de particules émises aux différentes techniques envisageables. Néanmoins, ne connaissant pas les émissions industrielles, les taux de réduction que l'on peut attendre de l'installation de ces équipements demeurent non estimables.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Pour un autre acteur du secteur, les rejets d'arsenic proviennent des impuretés présentes dans l'acide fluorhydrique qu'il utilise. L'arsenic est présent dans les effluents liquides. Son élimination est obtenue par précipitation.

## 7.2 Réduction des émissions industrielles vers l'eau

### ▪ Traitement des rejets industriels d'arsenic dans les eaux

Selon le site internet de l'inspection des installations classées<sup>37</sup>, la première technique de réduction des émissions de polluants dans l'eau est la réduction « à la source » qui passe par une meilleure maîtrise des procédés et se traduit par une moindre production d'effluents.

Quant à eux, les procédés de traitement avant émission consistent à piéger, concentrer ou transformer les substances polluantes afin de réduire les caractères polluants des effluents industriels avant rejet. Néanmoins, ces techniques aboutissent dans la majorité des cas à la production de déchets qu'il faut éliminer par ailleurs (boues, sels, concentrats, filtres usagés...).

Cette même source cite les techniques suivantes dans le cas du traitement avant émission de l'arsenic dans les eaux :

- précipitation ;
- adsorption ;
- résines échangeuses d'ions ;
- filtration sur membrane.

En se reportant aux documents BREF, les exemples suivants de traitements physico-chimiques avant rejet des eaux contenant de l'arsenic peuvent être retenus :

*Dans l'industrie extractive*, la technique employée pour limiter les émissions d'arsenic dans les eaux est la précipitation par addition de sels ferriques pour atteindre des niveaux d'arsenic inférieurs à 0,5 mg.L<sup>-1</sup>. A titre d'exemple, dans une mine de talc-magnésite en Finlande, les rendements des réactions de précipitation sont les suivants :

- si le pH est inférieur à 6 la précipitation de l'arsenic à la suite de l'ajout de sulfate ferrique est totale ;

<sup>37</sup> <http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/5-Traitements-des-rejets.html>

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- si le pH est supérieur à 6, la précipitation (en présence d'une quantité plus importante de sulfate que celle employée dans le cas précédent) aboutit à une teneur résiduelle en arsenic dans les eaux de 0,4 mg.L<sup>-1</sup>.

*Dans l'industrie de production du plomb, l'arsenic est éliminé par oxydation par la réaction de l'arsenic avec une solution de nitrate de sodium et de soude caustique suivie d'un écrémage mécanique.*

*Dans le secteur de la chimie minérale, lors de la production d'acide phosphorique, l'arsenic est séparé de l'acide par précipitation à l'aide d'une solution de Na<sub>2</sub>S. Le précipité est éliminé par filtration. Le filtrat est traité avec les déchets chimiques dangereux.*

- **Potabilisation des eaux contenant de l'arsenic**

Différentes techniques tirées d'un guide « United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water » (WHO, 2001) sont regroupées dans le tableau 8.1. Elles sont principalement adaptées à la potabilisation des eaux. Leur application à des rejets industriels pourrait s'avérer délicate et/ou non économiquement viable.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Tableau 8.1. Résumé des technologies de potabilisation des eaux contenant de l'arsenic (WHO, 2001).

Technology	Removal Efficiency		Institutional experience and issues
	As (III)	As (V)	
Coagulation with iron salts	++	+++	Well proven at central level, piloted at community and household levels. Phosphate and silicate may reduce arsenic removal rates. Generates arsenic-rich sludge. Relatively inexpensive.
Coagulation with alum	-	+++	Proven at central level, piloted at household levels. Phosphate and silicate may reduce arsenic removal rates. Optimal over a relatively narrow pH range. Generates arsenic-rich sludge. Relatively inexpensive
Lime softening	+	+++	Proven effective in laboratories and at pilot scale. Efficiency of this chemical process should be largely independent of scale. Chiefly seen in central systems in conjunction with water softening. Disadvantages include extreme pH and large volume of waste generated. Relatively inexpensive, but more expensive than coagulation with iron salts or alum because of larger doses required, and waste handling.
Ion exchange resins	-	+++	Pilot scale in central and household systems, mostly in industrialized countries. Interference from sulfate and TDS. High adsorption capacity, but long-term performance of regenerated media needs documentation. Waters rich in iron and manganese may require pre-treatment to prevent media clogging. Moderately expensive. Regeneration produces arsenic-rich brine.
Activated alumina	+/ ++	+++	Pilot scale in community and household systems, in industrialized and developing countries. Arsenite removal is poorly understood, but capacity is much less than for arsenate. Regeneration requires strong acid and base, and produces arsenic-rich waste. Long-term performance of regenerated media needs documentation. Waters rich in iron and manganese may require pre-treatment to prevent media clogging. Moderately expensive.
Membrane methods	-/ +++	+++	Shown effective in laboratory studies in industrialized countries. Research needed on removal of arsenite, and efficiency at high recovery rates, especially with low-pressure membranes. Pretreatment usually required. Relatively expensive, especially if operated at high pressures.
Fe-Mn oxidation	?	+/ ++/ +++	Small-scale application in central systems, limited studies in community and household levels. More research needed on which hydrochemical conditions are conducive for good arsenic removal. Inexpensive.
Porous media sorbents (iron oxide coated sand, greensand, etc.)	+/ ++	++/ +++	Shown effective in laboratory studies in industrialized and developing countries. Need to be evaluated under different environmental conditions, and in field settings. Simple media are inexpensive, advanced media can be relatively expensive.
In situ immobilization	++	+++	Very limited experience. Long-term sustainability and other effects of chemical injection not well documented. Major advantage is no arsenic-rich wastes are generated at the surface, major disadvantage is the possibility of aquifer clogging. Should be relatively inexpensive.

Key:   +++   Consistently > 90% removal  
       ++    Generally 60 – 90% removal  
       +    Generally 30 – 60% removal  
       -    < 30% removal  
       ?    Insufficient information

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 7.3 Réduction des émissions industrielles vers les sols

Différents tests de dépollution des sols contaminés par l'arsenic ont été effectués en France. Une synthèse de tels travaux a été rédigée par le BRGM (2004). Nous présentons ci-dessous les méthodes présentées comme les plus prometteuses.

### Méthodes physico-chimiques

- Lavage basique pour éliminer la plus grande part de la contamination, suivi d'un lavage aux phosphates (Clozel *et al.*, 2002).
- Le lavage acide peut également être utilisé (Matera *et al.*, 2002).

### Extraction de métaux et métalloïde par bio-réduction

- Utilisation de bactéries sulfato-réductrices.

Battaglia-Brunet *et al.* (2002) recensent les différents essais qui ont été effectués avec cette méthode.

- Bio-lixiviation en présence de microorganismes autotrophes ferro-oxydants et thio-oxydants et de soufre natif, en condition aérobie (Bayard *et al.* 2002).

Cependant cette méthode ne permet pas une réutilisation du sol de part son acidification importante et l'altération de la phase solide.

### Phytoréhabilitation

Cette technique (toujours en cours de développement) est basée sur l'emploi de végétaux supérieurs capables de piéger des quantités importantes de métal, en particulier d'arsenic, du sol et de les transférer dans les parties supérieures est une alternative aux traitements physico-chimiques.

L'efficacité à long terme de cette technique demande à être validée par des essais en grandeur réelle même si les premiers résultats sont encourageants (Boisson *et al.*, 1999, Mench *et al.*, 2002, Mench *et al.*, 2003).

Depuis l'achèvement des travaux du BRGM, d'autres techniques ont été testées, citons par exemple le couplage de techniques de bioréduction et de physico-chimie (Vaxevanidou *et al.*, 2008). Néanmoins, ces travaux semblent toujours être à l'état de tests.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Selon le BRGM (2004), la méthode utilisée le plus fréquemment pour les sols pollués à l'arsenic reste le confinement avec ou sans étape de stabilisation/solidification préalable.

## 7.4 Réduction dans les déchets

Le BREF consacré au traitement des déchets propose l'élimination des déchets arséniés par immobilisation c'est à dire une oxydation de As(III) suivi d'une étape de stabilisation / solidification.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 8. BIBLIOGRAPHIE

- ALTERRA, 2006. Critical Loads of copper, nickel, zinc, arsenic, chromium and selenium for terrestrial ecosystems at a European scale, Alterra-rapport 1355, ISSN 1566-7197, 46 p. (<http://www2.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterrarapporten/AlterraRapport1355.pdf>).
- ATSDR, 1993. Toxicological Profiles for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: US department of Health and Human Services, Public Health Services. (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html>).
- Battaglia-Brunet, F., Dictor, M.C., Garrido, F., *et al.*, 2002. An arsenic(III)-oxydizing bacterial population: selection, characterization, and performance in reactors. *Journal of Applied Microbiology*, 93, p.656-667.
- Bayard, R., Desjardin, V., Chatain, V., *et al.* 2002. Bio-lixiviation ou bio-immobilisation des métaux lourds et métalloïdes dans les sols pollués. In « Première Rencontre Nationale de la recherche sur les sites et sols pollués, bila et perspectives » du 12 et 13 décembre 2002.
- Boisson, J., Mench, M., Vangronsveld, J., *et al.*, 1999. Immobilization of trace metals and arsenic by different soil additives : evaluation by means of chemical extractions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30, p. 365-387.
- BRGM, 2006. Le BRGM, au cœur de la démarche de reconquête du « bon état » des différentes masses d'eau d'ici 2015, Conférence de presse du 18 mai 2006, 11 p. (<http://www.brgm.fr/AgendaNews/dcenewsFile?ID=15>).
- BRGM, 2006b. Guide technique : Qualité naturelle des eaux souterraines, Méthode de caractérisation des états de référence des aquifères français. BRGM éditions, L. Chery (Coordinatrice), 238 p.
- BRGM, 2004. Synthèse des travaux de R1D en France (1999-2004) sur la thématique de l'arsenic. Rapport final. BRGM/RP-53252-Fr, 127 p. (<http://www2.brgm.fr/Arsenic/fichiers/Synth%C3%A8se%20ARSENIC%20RP%2053252.pdf>).
- CITEPA, 2008. C'est dans l'air (Lettre d'information sur les aspects réglementaires, techniques, scientifiques et économiques de la pollution de l'air), n° 109, 6 p.
- CITEPA, 2007. Emissions dans l'air en France métropole, Substances relatives à la contamination par les métaux lourds. 28 p. ([http://www.citepa.org/emissions/nationale/ML/Emissions\\_FRmt\\_ML.pdf](http://www.citepa.org/emissions/nationale/ML/Emissions_FRmt_ML.pdf)).
- CITEPA, 2007b. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France, Séries sectorielles et analyses étendues. Format SECTEN. 291 p. (<http://www.citepa.org/publications/secten-fevrier%202007.pdf>).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- Clozel, B., Battaglia, F., Conil, P., 2002. Traitabilité par des méthodes physiques chimiques et biologiques de sols contaminés. Rapport Final. BRGM/RP-52065-FR, 356 p, 81 fig., 47 tabl., 9 ann.
- Eisler., R. 1994. Review of arsenic hazards to plants and animals with emphasis on fishery and wildlife ressources, in Arsenic in the environment Part 2, Human health and ecosystem effects, Niagu, J.O. éditeur, John Wiley and Sons, New York, 1994, chapitre 11, p. 185-259.
- e-phy : Le catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France. Site internet. (<http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>) ;
- HSDB, 2000. Arsenic. Hazardous Substances Data Bank, National Library of Medicine. (<http://www.toxnet.nlm.nih.gov>).
- INERIS, 2006. Arsenic et ses dérivés inorganiques, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS -DRC-01-25590-00DF258.doc, 78 p. ([www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=136](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=136)).
- INERIS, 2008. Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets industriels et urbains. Bilan de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les installations classées et autres installations, INERIS -DRC-07-82615-13836C ; 613 p.
- INRS, 2006. Arsenic et composés minéraux. Fiche toxicologique FT 192.
- INRS, 2006b. Trioxyde de diarsenic. Fiche toxicologique FT 89.
- INRS, 2006c. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-mémoire technique. INRS ED 984, 20 p. ([http://www.inrs.fr/htm/valeurs\\_limites\\_exposition\\_professionnelle\\_agents.html](http://www.inrs.fr/htm/valeurs_limites_exposition_professionnelle_agents.html))
- INRS, 2003. Indices biologiques d'exposition ND 2190, 18 p.
- INRS, 2000. Trihydrure d'arsenic. Fiche toxicologique FT 53.
- IPCS, 2001. Environmental Health Criteria 224 : Arsenic and Arsenic Compounds. International Programme on Chemical Safety, 2<sup>nd</sup> edition, 521p. ([http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc\\_224/en/](http://www.who.int/ipcs/publications/ehc/ehc_224/en/)).
- IREP. Registre français des émissions polluantes, site internet (<http://www.irep.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>).
- IUCLID, 2000. International Uniform Chemical Information Database. European Commission, ISPRA. CD.
- Lundholm, K., Boström, D. Nordin, A. et Shchukarev, A., 2007. Fate of Cu, Cr and As During Combustion of Impregnated Wood with and without Peat Additive. Environ. Sci. Technol., 41, p. 6534-6540.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- Matera, V., Le Hécho, I., Laboudigue, I. et al., 2002. Effet d'une modification du pH et de la teneur en phosphate sur la mobilité de l'arsenic présent dans des sols historiquement pollués. In « Première Rencontre Nationale de la recherche sur les sites et sols pollués, bila et perspectives » du 12 et 13 décembre 2002.
- Mench, M., Bussiere, S., Boisson, J. et al., 2003a. Progress in remediation and revegetation of the barren Jales gold mine spoil after in situ treatments. *Plant and Soil* 249, p. 187-202.
- Mench, M., Bessoule, J.J., Van Oort, F. et al, 2003b. Diagnostique de danger, évaluation du risque pour les végétaux, et remédiation par apport d'amendements dans les sols de la zone de Mortagne du Nord. Résumé des Journées du 20 et 21 mars 2003 sur le Devenir et Effets des Contaminants Métalliques dans les Agrosystèmes et Ecosystèmes terrestres.
- Mench, M., Recalde, N., Solda, P. et al., 2002. Atténuation de l'exposition aux éléments traces du sol par l'apport d'amendement et phytostabilisation de sites contaminés : efficacité, persistance et effets non intentionnels. In « Première Rencontre Nationale de la recherche sur les sites et sols pollués, bila et perspectives » du 12 et 13 décembre 2002.
- Miquel, G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office Parlementaire D'évaluation Des Choix Scientifiques et Technologiques. Assemblée Nationale n° 2979, Sénat n°261. (<http://www.senat.fr/rap/l00-261/l00-2611.pdf>).
- Molénat, N., Holeman, M., Pinel, R., 2000. L'arsenic, polluant de l'environnement : origines, distribution, biotransformations. *L'actualité chimique*, 6, pp. 12-23.
- Nilsson, J., Grennfelt, P., 1988. Critical loads for sulfur and nitrogen, Report from a workshop held at Skokloster, Sweden, 19-24 March 1988. Miljörapport 15. Nordic council of Ministers. 418 p.
- OMS, 2001. L'arsenic dans l'eau de boisson. Aide-mémoire N°210 (<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs210/fr/print.html>).
- OMS IPCS, 1981. Environmental Health Criteria n° 18: Arsenic. World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety.
- Proust, N., Guéry, J. et Picot, A., 2000. Toxicologie de l'arsenic et de ses composés : importance de la spéciation. *L'actualité Chimique*, 243, p. 3-11.
- Sanjuan, B., Crouzet, C., Brach, M., 2001. Caractérisation d'une contamination des eaux par l'arsenic : exemples d'Auzon et d'Auzelles (Auvergne). Rapport BRGM/RP-50737-FR, 46p.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- Ullmann, 1985. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, VCH. 5th Ed, vol A3, pp. 113-149
- Toxnet. Internet databases on toxicology, hazardous chemicals, environmental health, and toxic releases (<http://www.toxnet.nlm.nih.gov/>).
- Vaxevanidou, K., Papassiopi, N. et Paspaliaris, I., 2008. Removal of heavy metals and arsenic from contaminated soils using bioremediation and chelant extraction techniques. *Chemosphere*, 70, pp. 1329-1337.
- WHO, 2001. United Nations Synthesis Report on Arsenic in Drinking Water. DRAFT. World Health Organisation. Developed on behalf of the United Nations Administrative Committee on Cooperation Sub-Committee on Water Resources, with active participation of UNICEF, UNIDO, IAEA and the World Bank. ([http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/arsenic3/en/print.html](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/arsenic3/en/print.html)).

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 9. ANNEXE 1 : DEROGATIONS A LA DIRECTIVE N° 2006/139/CE DE LA COMMISSION DU 20 DECEMBRE 2006 MODIFIANT LA DIRECTIVE 76/769/CEE DU CONSEIL, EN CE QUI CONCERNE LA LIMITATION DE LA MISE SUR LE MARCHÉ ET DE EMPLOI DES COMPOSES DE L'ARSENIC, EN VUE D'ADAPTER SON ANNEXE I AU PROGRES TECHNIQUE (JOUE N° L384 DU 29 DECEMBRE 2006)

- a) Les substances et préparations de protection du bois peuvent seulement être mises en œuvre dans les installations industrielles utilisant le vide ou la pression pour l'imprégnation du bois, s'il s'agit de solutions de composés inorganiques du type CCA (chromate copper arsenate) de type C et si elles sont autorisées conformément à l'article 5, paragraphe 1, de la directive 98/8/CE. Le bois ainsi traité ne doit pas être mis sur le marché avant que l'agent de protection ne soit complètement fixé.
- b) Le bois traité avec des solutions CCA conformément au point a) dans les installations industrielles peut être mis sur le marché pour un usage professionnel et industriel, lorsque le traitement est mis en œuvre pour préserver l'intégrité structurelle du bois aux fins d'assurer la sécurité des hommes et des animaux et lorsqu'il est improbable que le public entre en contact cutané avec le bois au cours de sa durée de vie utile. Le bois ainsi traité est destiné aux usages suivants :
- bois de charpente de bâtiments publics, agricoles, administratifs et industriels,
  - ponts et ouvrages d'art,
  - bois d'œuvre dans les eaux douces et saumâtres, par exemple pour les jetées et ponts,
  - écrans acoustiques,
  - paravalanches,
  - glissières et barrières de sécurité du réseau autoroutier,
  - pieux de clôtures pour animaux, en conifère rond écorcé,
  - ouvrages de retenue des terres,
  - poteaux de transmission électrique et de télécommunications,
  - traverses de chemin de fer souterrain.



# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- c) Sans préjudice de l'application d'autres dispositions communautaires en matière de classification, d'emballage et d'étiquetage des substances et préparations dangereuses, tout bois traité mis sur le marché doit porter la mention individuelle "Réservé aux installations industrielles et aux utilisateurs professionnels, contient de l'arsenic". En outre, tout bois mis sur le marché en emballages doit également porter les mentions suivantes: "Portez des gants lorsque vous manipulez ce bois. Portez un masque anti-poussière et des lunettes de protection lorsque vous sciez ou usinez ce bois. Les déchets de ce bois doivent être traités comme des déchets dangereux par une entreprise agréée.
- d) Le bois traité conformément au point a) ne doit pas être utilisé:
- dans les constructions à usage d'habitation, indépendamment de leur destination,
  - dans toute application comportant un risque de contact répété avec la peau,
  - dans les eaux marines,
  - à des fins agricoles autres que celles liées aux pieux de clôtures pour animaux et aux usages de charpente ou autres structures visés au point b),
  - dans toute application dans laquelle le bois traité risque d'entrer en contact avec des produits intermédiaires ou finis destinés à la consommation humaine et/ou animale.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 10. ANNEXE 2 : SELECTION DES TECHNIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS D'EFFLUENTS GAZEUX UTILISEES EN FONCTION DU POLLUANT A ELIMINER DANS LE SECTEUR INDUSTRIEL DE L'INDUSTRIE CHIMIE INORGANIQUE, ENGRAIS, ACIDES

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

Technique	Composants gazeux ou volatils organiques						Odeur
	Composants gazeux ou volatils inorganiques						
	Particules organiques						
	Particules inorganiques						
	Matières humides						
	Matières sèches						
<b>Traitement des poussières</b>							
Séparateur (pré)	X	X	X	X			
Cyclone (pré)	X	X	X	X			
Dépoussiéreur par voie humide (TF)	X	X	X	X	(X)	(X)	
Séparateur électrostatique (TF)	X	X	X	X			
Filtre à manches (y. c. filtre céramique) (TF)	X		X	X			
Filtre à poussières bi-étage (pol)	X		X	X			
Filtre absolu (HEPA) (pol)	X		X	X			
Filtre à air à haut rendement (pol)		X					
Filtre à brouillard (pré, pol)		X			(X)		
<b>Traitement des gaz</b>							
Condenseur					(X)	X	
Cryocondensation (pré, TF)					(X)	X	(X)
Epurateur de gaz par voie humide (eau) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Epurateur de gaz par voie humide (alcalin) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Epurateur de gaz par voie humide (oxydation alcaline) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)			X
Epurateur de gaz par voie humide (acide) (TF)	(X)	(X)	(X)	(X)	X	X	X
Oxydation thermique (TF)				X		X	X
Oxydation catalytique (TF)						X	X
Brûlage à la torchère* (TF)						X	X
<b>Traitement des gaz de combustion</b>							
Injection alcaline par voie sèche (TF)					X		
Injection alcaline par voie semi-sèche (TF)					X		
Injection de chaux humide (TF)					X		
Réduction non catalytique sélective (TF)					X		
Réduction catalytique sélective (TF)					X	(X)	
X : utilisation principale (X) : utilisation secondaire (pré) : principalement comme système de prétraitement (TF) : technique de traitement utilisée comme technique de traitement final (pol) : principalement comme technique de polissage après la technique normale * le brûlage par torchère ne doit être utilisé qu'en cas d'urgence							

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

## 11. ANNEXE 3 : TECHNIQUES DE REDUCTION DES EMISSIONS INDUSTRIELLES ATMOSPHERIQUES DE POUSSIÈRES

*Le site internet du CITEPA (<http://www.citepa.org/techniques/poussieres.htm>), quant aux principales techniques de réduction des émissions industrielles atmosphériques de poussières. N'ayant pas pu confirmer (ou infirmer) ces informations au cours de la rédaction de cette synthèse, nous citons intégralement et sans modification le paragraphe suivant.*

Quatre grandes familles de matériels permettent de limiter les émissions de particules en sortie de cheminée :

### ▪ Cyclones

Ils sont efficaces sur les grosses particules (>15 $\mu$ m). Ce type de matériel met en jeu une force mécanique (pesanteur, inertie ou force centrifuge) pour faire migrer les poussières hors du courant du gaz porteur et assurer leur séparation. En effet la masse volumique des poussières est environ 1000 fois supérieure à celle des gaz. Ce matériel peut garantir des rejets de 250 à 120 mg.m<sup>-3</sup> et il est souvent utilisé en pré-dépoussièrage.

### ▪ Filtres à manches

Le flux gazeux à traiter traverse un média filtrant qui retient les poussières. Celles-ci obstruent progressivement les pores du filtre et celui-ci doit être régulièrement régénéré par évacuation des poussières accumulées.

Ce type de filtre permet de garantir des rejets de 10 à 5 mg.m<sup>-3</sup> et présente une excellente efficacité pour toutes les poussières mêmes très fines. Le coût d'exploitation de ce matériel est lié au renouvellement nécessaire et périodique des médias filtrants. De plus sa forte sensibilité aux hautes températures (>250°C) nécessite parfois un système de refroidissement des gaz en entrée.

### ▪ Electrofiltres

Les poussières présentes dans l'effluent gazeux sont ionisées puis piégées par l'action d'un champ électrique élevé créé entre une électrode collectrice et une électrode émissive. L'électrode collectrice est régulièrement mise en vibration pour récolter les poussières accumulées. Cette technologie présente une très bonne efficacité pour toutes les particules et permet de respecter 50mg.m<sup>-3</sup> de poussières en rejet, voire 30 mg.m<sup>-3</sup> en adaptant le nombre de champs.

# ARSENIC ET COMPOSES INORGANIQUES : PANORAMA DES PRINCIPAUX EMETTEURS

- **Laveurs**

Les laveurs s'avèrent parfois indispensables pour le dépoussiérage lorsque les gaz à traiter sont proches de la saturation en eau, ou lorsque les problèmes de sécurité rendent très difficile leur épuration par voie sèche. Les laveurs ont l'inconvénient de transférer la pollution gazeuse vers une phase liquide. Un dépoussiéreur humide produit une boue qu'il faut traiter et au moins décanter. L'efficacité des laveurs est dépendante des niveaux d'énergie mis en jeu.

- **Ordres de grandeur des coûts et des émissions liés à ces procédés**

*Tableau 11.1. Ordres de grandeur des coûts et des émissions liés au procédé d'abattement des émissions atmosphériques de poussière (d'après le site internet du CITEPA)*

	Investissement	Exploitation	Emissions (mg.m <sup>-3</sup> )
Cyclones	+	+	<250 à 120
Electrofiltres	+++	+	<50 à 30
Filtres à manches	+++	++	<10 à 5
Laveurs	+	++/+++	<50